

ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA

GRADO EN INGENIERÍA MECÁNICA

**Análisis y mejora en la línea de producción de  
operaciones posteriores de autoclave en CFRP para  
una Flap Support Fairing del ala principal de la  
aeronave A400M mediante la herramienta lean  
“VSM”**

**AUTOR: ALEJANDRO VIDAL HERRERA**

Cádiz, Febrero 2016



ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA  
GRADO EN INGENIERÍA MECÁNICA

**Análisis y mejora en la línea de producción de  
operaciones posteriores de autoclave en CFRP para  
una Flap Support Fairing del ala principal de la  
aeronave A400M mediante la herramienta lean  
“VSM”**

**DIRECTOR: MANUEL TORNELL BARBOSA  
AUTOR: ALEJANDRO VIDAL HERRERA**

Cádiz, diciembre 2016



# **TRABAJO FIN DE GRADO EN INGENIERÍA MECÁNICA**

## **Escuela Superior de Ingeniería de Cádiz**

Análisis y mejora en la línea de producción de operaciones posteriores de autoclave en CFRP para una Flap Support Fairing del ala principal de la aeronave A400M, mediante la herramienta lean “VSM”

## **ÍNDICE GENERAL**

Febrero 2017

Alejandro Vidal Herrera

Director: Manuel Tornell Barbosa



## ÍNDICE GENERAL

<b>MEMORIA .....</b>	<b>13</b>
<b>Capítulo 1. Introducción .....</b>	<b>19</b>
1.1 Justificación .....	19
1.2 Alcance del proyecto y objetivo .....	19
<b>Capítulo 2. Entorno del trabajo .....</b>	<b>20</b>
2.1 Introducción .....	20
2.2 La empresa .....	20
2.2.1 Productos y clientes .....	20
2.2.2 Procesos y áreas de planta .....	20
<b>Capítulo 3. Antecedentes Teóricos .....</b>	<b>26</b>
3.1 Introducción .....	26
3.2 Introducción y principios del Lean Manufacturing .....	26
3.2.1 Definición del término Lean Manufacturing .....	26
3.2.2 Orígenes y antecedentes .....	26
3.2.3 Principios del sistema Lean .....	28
3.2.4 Estructura del sistema Lean .....	31
3.2.5 Concepto de despilfarro vs valor añadido .....	34
3.3 Descripción de las herramientas Lean Manufacturing .....	35
3.3.1 Uso de las técnicas y clasificación .....	35
3.3.2 5's .....	36
3.3.3 Cambio rápido de herramienta. SMED .....	38
3.3.4 Estandarización .....	38
3.3.5 Control Visual .....	39
3.3.6 Jidoka .....	39
3.3.7 Técnicas de Calidad .....	40
3.3.8 Sistema de participación del personal .....	41
3.3.9 Heijunka .....	41
3.3.10 Kanban .....	42
3.4 Hoja de ruta para la aplicación del VSM .....	43
3.4.1 Definición de Value Stream Mapping .....	43
3.4.2 Método operativo para representación del mapa VSM .....	44

3.4.3 Método operativo para implementación del VSM futuro .....	47
<b>Capítulo 4. Proceso productivo .....</b>	<b>52</b>
4.1 Introducción .....	52
4.2 Producto .....	52
4.3 Diagrama de flujo .....	55
<b>Capítulo 5. VSM actual. Identificación y análisis de los despilfarros .....</b>	<b>60</b>
5.1 Introducción .....	60
5.2 Recopilación de la información .....	60
5.2.1 Datos de necesidades de entrega (cliente) .....	60
5.2.2 Datos de subcontratistas.....	61
5.2.3 Datos de proveedor .....	61
5.2.4 Datos logísticos .....	61
5.2.5 Datos de los procesos .....	62
5.2.6 Datos de stocks de inventarios .....	66
5.2.7 Datos de la línea de tiempo .....	69
5.2.8 Flujo de información .....	71
5.2.9 Datos de calidad (ASM) .....	71
5.3 Realización del VSM actual.....	72
5.4 Identificación de incidencias detectadas en el VSM actual .....	75
5.4.1 Incidencia 1: Exceso de transportes logísticos .....	76
5.4.2 Incidencia 2: Incidencias de Calidad.....	78
5.4.3 Incidencia 3: Sobreproducción, exceso de obra en curso y sistema push .....	80
5.5 Descripción de las incidencias detectadas por proceso .....	82
5.5.1 Recepción de elementos y posterior envío a reparación superficial .....	83
5.5.2 Recepción de reparación superficial .....	84
5.5.3 Recanteo .....	85
5.5.4 Repaso .....	88
5.5.5 Verificación láser y verificación manual.....	90
5.5.6 Ultrasonidos .....	92
5.5.7 Sellado de cantos .....	94
5.5.8 Envío a pintura, recepción de pintura y envío a producto terminado.....	95
5.6 Identificación de las incidencias en el VSM actual .....	95
<b>Capítulo 6. VSM futuro. Oportunidades de mejora .....</b>	<b>98</b>
6.1 Introducción .....	98



6.2 Recopilación de la información para la realización del VSM futuro .....	98
6.3 Realización del VSM futuro .....	106
6.4 Plan táctico de mejora (TIP) .....	109
6.4.1 Paso 1 y paso 2: Brainstorm y priorización de las acciones de mejora.....	109
6.4.2 Paso 3: Diseño detallado de las acciones definidas como prioritarias .....	112
6.4.3 Paso 4: Incorporación de las tareas definidas en un A3 report .....	118
6.4.4 Paso 5: Aceptación por parte de dirección del TIP .....	120
6.4.5 Paso 6: Designación de los procesos.....	120
6.4.6 Paso 7: Seguimiento del TIP .....	120
6.5 Plan de implantación del TIP. Gráfico de Gantt .....	120
<b>Capítulo 7. Conclusiones .....</b>	<b>123</b>
<b>PLIEGO DE CONDICIONES .....</b>	<b>129</b>
1. Condiciones generales .....	133
1.2 Condiciones legales.....	133
2. Condiciones particulares .....	134
2.2 Obligaciones del contratista .....	134
2.3 Obligaciones del proyectista.....	134
2.4 Formato de entrega del proyecto.....	134
3. Condiciones económicas .....	134
3.1 Forma de pago .....	134
3.2 Penalizaciones por incumplimiento de plazos.....	135
3.3 Garantía .....	135
4. Requisitos funcionales .....	135
4.1 Hardware .....	135
4.2 Software.....	135
<b>PRESUPUESTOS.....</b>	<b>137</b>
1. Precios unitarios .....	141
2. Desglose presupuestario .....	141
2.1 Fase 1: Análisis de la línea de producción. Elaboración del VSM actual .....	141
2.2 Fase 2: Identificación de las desperdicios y elaboración de propuestas de mejora. Elaboración del VSM futuro.....	142
2.3 Fase 3: Realización del TIP y seguimiento del plan de implantación.....	143
3. Materiales .....	143

## ÍNDICE

4. Presupuesto final .....	144
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>147</b>
1. Bibliografía referenciada .....	151
2. Normas .....	152
<b>ANEXO.....</b>	<b>155</b>





# **TRABAJO FIN DE GRADO EN INGENIERÍA MECÁNICA**

## **Escuela Superior de Ingeniería de Cádiz**

Análisis y mejora en la línea de producción de operaciones posteriores de autoclave en CFRP para una Flap Support Fairing del ala principal de la aeronave A400M, mediante la herramienta lean “VSM”

# **MEMORIA**

Febrero 2017

Alejandro Vidal Herrera

Director: Manuel Tornell Barbosa



## ÍNDICE MEMORIA

<b>MEMORIA .....</b>	<b>13</b>
<b>Capítulo 1. Introducción .....</b>	<b>19</b>
1.1 Justificación .....	19
1.2 Alcance del proyecto y objetivo .....	19
<b>Capítulo 2. Entorno del trabajo .....</b>	<b>20</b>
2.1 Introducción .....	20
2.2 La empresa .....	20
2.2.1 Productos y clientes .....	20
2.2.2 Procesos y áreas de planta .....	20
2.2.2.1 Almacén .....	24
2.2.2.2 Máquinas de recorte CNC .....	24
2.2.2.3 Área de utillaje .....	24
2.2.2.4 Área de recorte manual .....	24
2.2.2.5 Área de verificación .....	24
2.2.2.6 Área de inspección por ultrasonidos .....	25
2.2.2.7 Área de sellado de bordes .....	25
2.2.2.8 Zonas de equipado/montaje .....	25
2.2.2.9 Zona de reparación superficial .....	25
2.2.2.10 Zona de pintura .....	25
<b>Capítulo 3. Antecedentes Teóricos .....</b>	<b>26</b>
3.1 Introducción .....	26
3.2 Introducción y principios del Lean Manufacturing .....	26
3.2.1 Definición del término Lean Manufacturing .....	26
3.2.2 Orígenes y antecedentes .....	26
3.2.3 Principios del sistema Lean .....	28
3.2.4 Estructura del sistema Lean .....	31
3.2.5 Concepto de despilfarro vs valor añadido .....	34
3.3 Descripción de las herramientas Lean Manufacturing .....	35
3.3.1 Uso de las técnicas y clasificación .....	35
3.3.2 5's .....	36

3.3.3 Cambio rápido de herramienta. SMED .....	38
3.3.4 Estandarización .....	38
3.3.5 Control Visual .....	39
3.3.7 Técnicas de Calidad .....	40
3.3.8 Sistema de participación del personal .....	41
3.3.9 Heijunka .....	41
3.3.10 Kanban .....	42
3.4 Hoja de ruta para la aplicación del VSM .....	43
3.4.1 Definición de Value Stream Mapping .....	43
3.4.2 Método operativo para representación del mapa VSM .....	44
3.4.3 Método operativo para implementación del VSM futuro .....	47
3.4.3.1 Generación del VSM futuro.....	47
3.4.3.2 Estrategia general del trabajo (TIP).....	48
<b>Capítulo 4. Proceso productivo .....</b>	<b>52</b>
4.1 Introducción .....	52
3.2 Producto .....	52
3.3 Diagrama de flujo .....	55
<b>Capítulo 5. VSM actual. Identificación y análisis de los despilfarros .....</b>	<b>60</b>
5.1 Introducción .....	60
5.2 Recopilación de la información .....	60
5.2.1 Datos de necesidades de entrega (cliente).....	60
5.2.2 Datos de subcontratistas.....	61
5.2.3 Datos de proveedor .....	61
5.2.4 Datos logísticos .....	61
5.2.5 Datos de los procesos .....	62
5.2.6 Datos de stocks de inventarios .....	66
5.2.7 Datos de la línea de tiempo .....	69
5.2.8 Flujo de información .....	71
5.2.9 Datos de calidad (ASM).....	71
5.3 Realización del VSM actual.....	72
5.4 Identificación de incidencias detectadas en el VSM actual .....	75
5.4.1 Incidencia 1: Exceso de transportes logísticos.....	76
5.4.2 Incidencia 2: Incidencias de Calidad.....	78



5.4.3 Incidencia 3: Sobreproducción, exceso de obra en curso y sistema push .....	80
5.5 Descripción de las incidencias detectadas por proceso .....	82
5.5.1 Recepción de elementos y posterior envío a reparación superficial .....	83
5.5.2 Recepción de reparación superficial .....	84
5.5.3 Recanteo .....	85
5.5.4 Repaso .....	88
5.5.5 Verificación láser y verificación manual .....	90
5.5.6 Ultrasonidos .....	92
5.5.7 Sellado de cantos .....	94
5.5.8 Envío a pintura, recepción de pintura y envío a producto terminado .....	95
5.6 Identificación de las incidencias en el VSM actual .....	95
<b>Capítulo 6. VSM futuro. Oportunidades de mejora .....</b>	<b>98</b>
6.1 Introducción .....	98
6.2 Recopilación de la información para la realización del VSM futuro .....	98
6.3 Realización del VSM futuro .....	106
6.4 Plan táctico de mejora (TIP) .....	109
6.4.1 Paso 1 y paso 2: Brainstorm y priorización de las acciones de mejora .....	109
6.4.2 Paso 3: Diseño detallado de las acciones definidas como prioritarias .....	112
6.4.3 Paso 4: Incorporación de las tareas definidas en un A3 report .....	118
6.4.4 Paso 5: Aceptación por parte de dirección del TIP .....	120
6.4.5 Paso 6: Designación de los procesos .....	120
6.4.6 Paso 7: Seguimiento del TIP .....	120
6.5 Plan de implantación del TIP. Gráfico de Gantt .....	120
<b>Capítulo 7. Conclusiones .....</b>	<b>123</b>



## Capítulo 1. Introducción

### 1.1 Justificación

Las empresas industriales se encuentran ante la obligación de rediseñar y replantear sus sistemas productivos debido a la necesidad de superación frente a la fuerte competencia y retos en los mercados actuales. Es por esta razón el objetivo marcado por gran parte de la industria de la eliminación del despilfarro que existe en sus sistemas productivos mediante la utilización de una colección de herramientas *lean manufacturing* (TPM, 5S, SMED, Kanban, Kaizen, Heijunka, Jidoka, etc.).

Para el inicio de una implantación Lean es necesario cartografiar cual es la situación actual, mostrando el flujo de información y de materiales e identificando todas las actividades que ocurren a lo largo del flujo. Se trata de plasmar en un papel de una manera sencilla y visual, todos aquellos procesos que se realizan actualmente, para identificar así la cadena de valor.

Esto permite identificar las actividades que no aportan valor a la empresa, con el fin de poder eliminarlas y ganar en productividad y eficiencia.

### 1.2 Alcance del proyecto y objetivo

Con la herramienta *Value Stream Mapping* (VSM) o mapeado del flujo de valor se pretende en el presente proyecto realizar un análisis del sistema productivo actual perteneciente a una planta dedicada a la realización de procesos posteriores al autoclave en materiales compuestos. Concretamente, se estudiará la línea productiva dedicada a la fabricación de un componente del ala principal de la aeronave A400M.

El objeto del presente trabajo se centra en el análisis y toma de datos de la situación actual de la producción, para así elaborar un *VSM actual* y a partir de él identificar todos los despilfarros y acciones de mejoras que puedan ser implementadas.

Posteriormente, se desarrollará el estado ideal al que se pretende llegar, el VSM futuro. En él se plasma como debe de ser el sistema productivo una vez eliminado los desperdicios identificados anteriormente e implementadas las mejoras propuestas.

Para llegar a ello es necesario que todos los miembros del equipo tengan claro exactamente que hay que hacer, cuándo y por quién. Por lo que las acciones de mejora a implementar serán recogidas en un *Tactical Improvement Plan* (TIP) o plan táctico de mejora, donde se realiza una representación visual de las tareas que se requieren para alcanzar los objetivos planteados. El objetivo final será el de mejorar la eficiencia y productividad de la línea de fabricación, así como disminuir el *lead time* de entrega al cliente.

## Capítulo 2. Entorno de trabajo

### 2.1 Introducción.

En este capítulo se pretende explicar e incluir una breve información del entorno de trabajo donde se ha podido desarrollar el presente proyecto.

En primer lugar se realiza una presentación de la compañía donde ha sido posible la realización de las prácticas de empresa y ha permitido el estudio y análisis de la situación inicial para la elaboración del presente proyecto. Posteriormente se describe brevemente a que sector pertenece y los servicios que esta ofrece.

En el siguiente apartado se cita cuáles son los principales clientes y proyectos que se desarrollan en dicha empresa.

Por último, se nombra los diferentes procesos que se llevan a cabo en la planta. Se muestra la distribución de las diferentes áreas que la componen y se realiza una descripción de cada una de ellas.

### 2.2 La empresa.

Machining Carbon Fiber S.L es la empresa ficticia en la cual se realiza durante un período de prácticas de nueve meses el desarrollo del presente proyecto. Dicha empresa se encuentra distribuida en dos plantas ubicadas en Sevilla y en el Puerto de Santa María (Cádiz). Principalmente, su actividad se centra en la gestión integral de aeroestructuras en la industria aeronáutica, especializada en la realización de operaciones posteriores a autoclave de materiales compuestos.

#### 2.2.1 Productos y clientes

La evolución de la compañía en los últimos la ha situado en un referente para las grandes empresas de fabricación en el sector aeronáutico como Airbus, Alestis, Ogma, Aernnova y Aciturri en el desarrollo y ejecución de procesos en aeroestructuras. Forma parte de la fabricación de piezas en programas como A320 NEO, A330 NEO, C-295, A350, B737 MAX, B777, B787 Falcon F8X, A400M y KC390.

#### 2.2.2 Procesos y áreas de planta

El servicio integral de fabricación y montaje de estructuras aeronáuticas que ofrece la empresa se compone de los siguientes procesos:

- |  |                       |
|--|-----------------------|
| ➤ Recantado CNC                        | ➤ Sellado de bordes   |
| ➤ Recantado manual                     | ➤ Estanqueidad        |
| ➤ Inspección dimensional manual        | ➤ Trat. superficiales |
| ➤ Inspección ultrasonidos              | ➤ Equipado de piezas  |
| ➤ Inspección dimensional láser tracker | ➤ Pintura             |

A continuación se presenta el lay-out de la planta donde se distinguen las diferentes áreas donde se desarrollan estos procesos de fabricación:

**Tabla 1:** Áreas de la planta

Áreas de la planta	
1. Almacén	2. Máquina de recorte CNC
3. Área de utillaje	4. Área de recorte manual
5. Área de verificación	6. Área de inspección ultrasonidos
7. Área de sellado de bordes	8. Zona de equipado/montaje
9. Zona de pintura	10. Zona de preparación superficial

LAY-OUT PRIMERA PLANTA

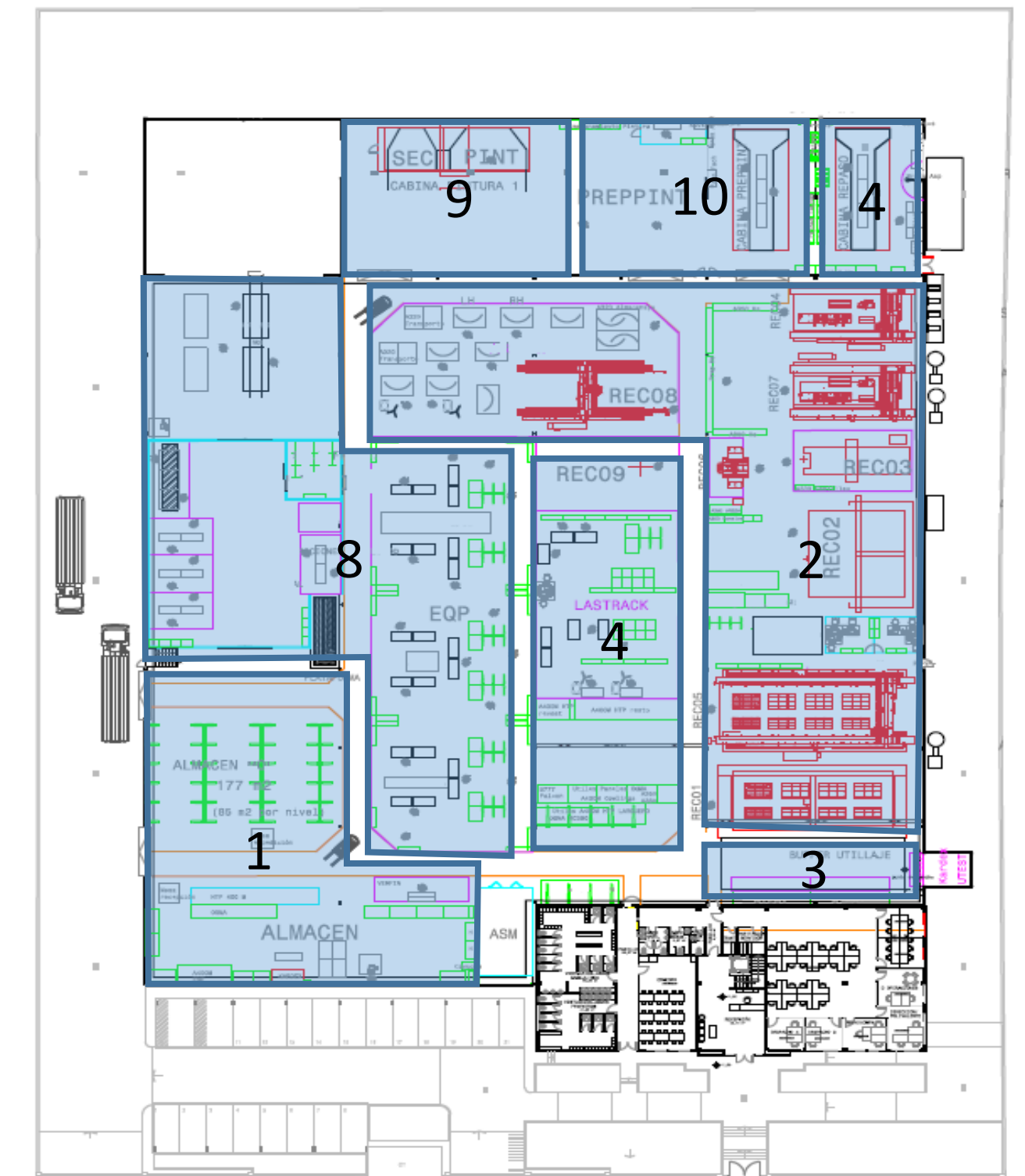


Figura 1: Lay-out de la primera planta.

## LAY-OUT SEGUNDA PLANTA

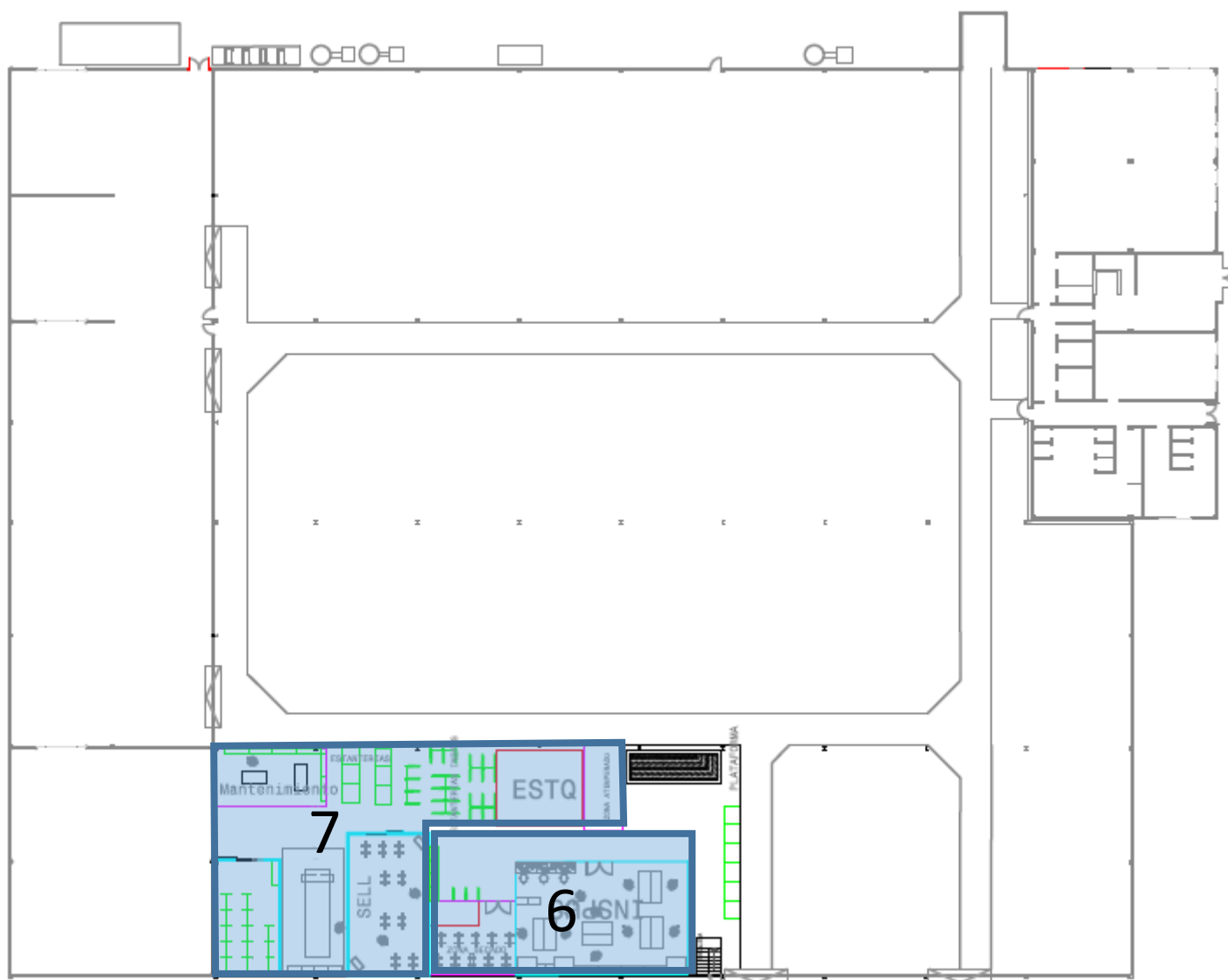


Figura 2: Lay-out de la segunda planta

#### 2.2.2.1 Almacén

En esta área se realiza la recepción y expedición de las diferentes piezas de cada cliente, informando de ello a los departamentos de programas y producción. Así como recepciones y expediciones de piezas enviadas a subcontratistas. También se encarga del control de existencias y aprovisionamiento de normales y elementales a la zona de equipado, del control de stocks de herramientas, químicos y material variado para taller (guantes de látex, cintas, etc.), del lanzamiento de solicitud de pedido cuanto se alcanza el stock mínimo y de servir los diferentes materiales a la zona de taller.

#### 2.2.2.2 Máquinas de recorte CNC

Como se puede observar en el lay-out de la planta, la empresa cuenta con un total de 8 máquinas de recorte por control numérico, 6 de ellas son de 5 ejes con diferentes características técnicas y dimensiones según el tipo de piezas a mecanizar y las 2 restantes son máquinas CNC de 3 ejes.

Salvo las máquinas de 3 ejes, las de 5 ejes tienen diferentes mesas de mecanizado que permite la colocación de diferentes útiles al mismo tiempo. Una vez realizado el mecanizado, las piezas son llevadas al área de repaso.

#### 2.2.2.3 Área de utillaje

Zona destinada al almacenamiento de útiles de recorte. Los útiles se organizan en estanterías verticales. Se encuentra cerca de la zona de máquinas CNC para así disminuir los tiempos de desplazamientos. A cada útil le corresponde un lugar determinado que depende de la frecuencia con la que es utilizado, es decir, la cadencia con la que esa pieza es mecanizada. A mayor cadencia, el útil se encuentra en los niveles de menor altura y más próximo a la zona de máquinas.

#### 2.2.2.4 Área de recorte manual

En esta área se reciben todas las piezas procedentes del mecanizado en las máquinas CNC. Lo primero que se realiza es el repaso del contorno donde quedan libres algunas fibras después del mecanizado. Posteriormente se eliminan las orejetas por las cuales es agarrada la pieza al útil de mecanizado y por último se realizan operaciones de recorte que no son posibles de llevar a cabo en la operación de mecanizado CNC (avellanados, chaflanes, taladros ciegos, etc...)

#### 2.2.2.5 Área de verificación

El departamento de verificación es el encargado de dar la conformidad dimensional a la pieza. En esta área se distinguen dos procesos de verificación diferentes según las herramientas que se utilicen para ello.

En una de las áreas se realiza la verificación dimensional mediante equipos de láser tracker portátiles, que son utilizados para el dimensionamiento de las piezas de gran tamaño después del recorte. Se toman una serie de puntos sobre la pieza real y se compara con el modelo teórico con ayuda de un software informático.

Por otro lado se realiza la verificación dimensional de piezas mediante el uso otras herramientas como pueden ser: calibre pie de rey, micrómetro, calibradores pasa-no pasa, pinza de espesores, plantillas, reglas graduadas y reloj comparador.



#### 2.2.2.6 Área de inspección por ultrasonidos

La inspección por ultrasonidos se lleva a cabo después de realizar todas las operaciones de recantado (incluido recantado de orejetas), de taladrado y avellanado, verificación dimensional y antes de pintar.

La inspección por ultrasonidos por pulso eco manual se encuentra dentro de las técnicas de inspección no destructivo de tipo mecánico. Es en este proceso, donde se deben detectar posibles delaminaciones originadas en los procesos de recantado o inclusiones de objetos extraños, huecos o descolados producidos durante la fabricación del elemento. Una vez realizado, se asegura la calidad del producto, la aplicabilidad en todas las fases del producto y es enviado a operaciones finales.

#### 2.2.2.7 Área de sellado de bordes

Como su nombre indica, es el área donde se realiza la operación de sellado de bordes. Dicha zona se divide en 3 partes. La zona de espera, donde se depositan las piezas provenientes de procesos anteriores. La zona de sellado de cantos, la cual está climatizada y se controla en todo momento los niveles de temperatura y humedad. Esto es debido a que este proceso debe realizarse dentro de unos márgenes de temperatura y humedad definidos. Por último la zona de secado, donde se depositan las piezas hasta que el químico utilizado para el sellado de cantos haya curado.

#### 2.2.2.8 Zonas de equipado/montaje

Zonas destinada los procesos de equipado y montaje de diferentes elementos aeronáuticos. Estas se encuentran en dos ubicaciones diferentes. En la zona de la planta baja se encuentra el montaje de elementos del A320 NEO, mientras que la entreplanta se realiza el equipado de piezas del A350.

#### 2.2.2.9 Zona de preparación superficial

La preparación superficial es el proceso previo antes de la fase pintura y acabado finales. En esta zona se realiza el lijado previo y la reactivación de la capa externa del elemento para posteriormente pasar a la pintura final.

#### 2.2.2.10 Zona de pintura

La pintura es el último proceso en el flujo de la gran mayoría de piezas. Este área está dividida en 4 partes.

- La zona de almacenaje de pintura, cuyos niveles de temperatura y humedad deben de estar controlados y registrados.
- Zona de preparación previa a la entrada en cabina de pintura. En ella se realiza el proceso de enmascarado de las partes que no deben de pintarse.
- Cabina de pintura.
- Zona de curado y verificación final.

## Capítulo 3. Antecedentes Teóricos

### 3.1 Introducción

En este capítulo se expone la teoría implicada y necesaria para el desarrollo del trabajo. En un primer apartado 3.2 se habla del origen y los principios de la filosofía Lean, cuáles son sus bases y el tipo de estructura en que se apoya para su desarrollo. Esta filosofía se tendrá presente durante toda la realización del proyecto.

Posteriormente se realiza una presentación y descripción de algunas de las técnicas utilizadas para la implementación del Lean Manufacturing. Concretamente las que han sido necesarias para la realización e implementación de las mejoras propuestas en dicho proyecto.

Por último, se explica en el apartado 3.4 en mayor detalle la principal herramienta utilizada, el Value Stream Mapping, así como la ruta seguida para su implementación, desarrollo y posterior diagnóstico.

### 3.2 Introducción y principios del Lean Manufacturing

#### 3.2.1 Definición del término Lean Manufacturing

El término “Lean” surge por primera vez en el Instituto tecnológico de Massachusetts (MIT) en 1987, por John Krafcil. Es una palabra inglesa que se puede traducir como “sin grasa, escaso, esbelto”, y es aplicado en el sistema productivo con el significado de “ágil, flexible”. El termino se origina al explicar la producción ajustada, ya que esta utiliza menos recursos con respecto la producción en masa, trata de eliminar los desperdicios del sistema productivo y todo aquello que no añade valor al producto por lo que el termino *lean* se aceptó rápidamente. [3, 10]

#### 3.2.2 Orígenes y antecedentes

Las técnicas de organización de la producción surgen a principios del siglo XX con los trabajos realizados por F.W. Taylor y Henry Ford, que formalizan y metodifican los conceptos de fabricación en serie. Taylor estableció las primeras bases de la organización de la producción a partir de la aplicación de método científico a procesos, tiempos, equipos, personas y movimientos. Más tarde Henry Ford introdujo las primeras cadenas de fabricación en serie de automóviles.

La desavenencia con estas técnicas se produce en Japón, en donde se encuentra el primer germen reconocido del pensamiento Lean. En 1902, Sakichi Toyoda el que más adelante fuera fundador de la Corporación Toyota Motor Company junto a su hijo, inventó un dispositivo que indicaba con una señal visual al operador de máquina cuando se producía una rotura de hilo en un telar. Con esta ingeniosa medida un solo operario era capaz de controlar varias máquinas en funcionamiento a la vez, lo que supuso separar al hombre de la máquina, obteniendo así una tremenda mejora de la productividad y despertando el interés por la mejora continua en los puestos de trabajos.

En 1929, Sakiich vende la patente de sus telares y encarga a su hijo invertir en la industria de la automoción, surgiendo así la compañía Toyota. Después de la segunda guerra mundial, las empresas japonesas conocedoras del estado de precariedad en la que había quedado su

economía, se marcaron como objetivo restaurar de nuevo su industria y para ello comenzaron a estudiar los métodos de producción de Estados Unidos, centrándose en los sistemas de producción de Ford, el control estadístico de procesos de W. Shewart, las técnicas de calidad de Edwards Deming y Joseph Moses Juran, además de las desarrolladas por Kaoru Ishikawa. Un colapso en las ventas de Toyota en 1949 obligó a la empresa despedir a gran parte de sus trabajadores. Este fue el motivo por el cual dos ingenieros de la compañía, Eiji Toyoda y Tiicho Ohno, visitaron la industria de la automoción estadounidense. Observaron que el sistema de fabricación en grandes cantidades pero limitando el número de modelos ofertados efectivamente reducía los costes, pero no era adaptable a la sociedad Japonesa que demandaba un sistema menos rígido: vehículos pequeños, modelos variados y de bajo coste. Para ello concluyeron que eso solo sería posible eliminando los stocks y todos los despilfarros que existiesen dentro del proceso productivo.

Como resultado de estos estudios, Ohno ideó el nuevo sistema de gestión “just in time” (Justo a tiempo), producir únicamente lo que el cliente demanda y cuando lo solicita. También conocido como TPS (Toyota Production System). Con la contribución de los estudios de Shigeo Shingo se introdujo la necesidad de transformar las operaciones productivas en flujos continuos, reduciendo los tiempos de preparación y cambios de herramientas, sistema SMED (Single-Minute Echange of Die).

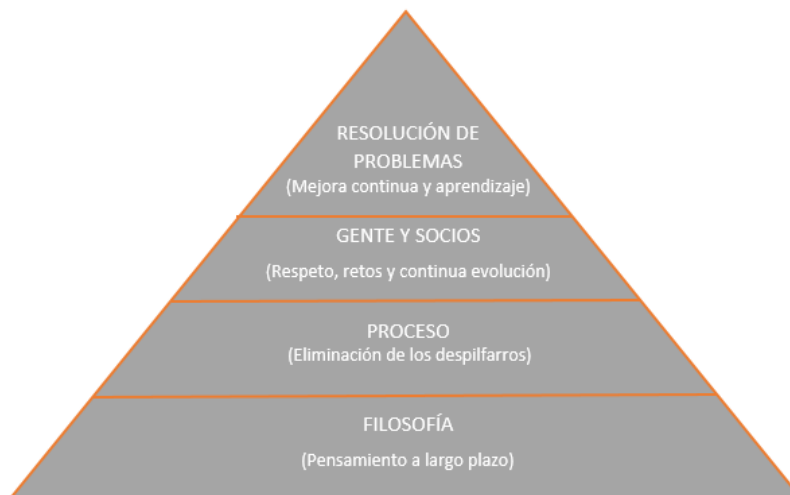
La crisis del petróleo de 1973 y el desplome de muchas empresas del país hizo destacar a la compañía Toyota, líder de la industria Japonesa. En consecuencia, el gobierno japonés promovió el sistema TPM usado por la compañía en el resto de empresas. A partir de ese momento Japón destaca sobre sus competidores occidentales.

Sin embargo, fueron James y Womack los que introdujeron el concepto de Lean en 1990 para describir la filosofía de producción Japonesa (TPS). Este modelo irrumpió con fuerza en la industria estadounidense y europea tras la publicación de “La máquina que cambió el mundo” de Womack, Jones y Roos. En esta obra se recopila el “Programa de Vehículos a Motor” realizado en el MIT (Massachusetts Institute of Technology) y es donde se utiliza por primera vez la denominación Lean Manufacturing. [1]

### 3.2.3 Principios del sistema Lean

Para describir los principios del sistema Lean, se utilizará la pirámide "4P" del éxito del modelo Toyota. La filosofía Lean fue construida a partir de estos 4 principios representados gráficamente en una gráfica piramidal: Philosophy, Process, People, Problem (filosofía, Procesos, Personas, Problemas) [7]

**Gráfica 1:** Pirámide de los 4 principios del pensamiento Toyota [7]



#### Concepto 1: Filosofía (pensamiento a largo plazo)

**"Principio 1:** Base sus decisiones de gestión en una filosofía a largo plazo, a expensas de lo que suceda con los objetivos financieros a corto plazo"

Un proyecto Lean, debe ser un proyecto a largo plazo, incluso cuando los resultados a corto plazo tengan unos efectos considerables, ya que si se introduce un proyecto con un producto de calidad, se cumpla las expectativas de venta en el mercado y sea rentable para los consumidores, es la condición necesaria para alcanzar los verdaderos objetivos.

- Colaborar en el crecimiento económico del país
- Colaborar y ayudar a la estabilidad y bienestar de los miembros de la compañía
- Contribuir al crecimiento de la empresa.

Ante una disminución en la carga de trabajo o trabajos que ya no son necesarios debido a la automatización, la respuesta no es disminuir la plantilla, según este principio se debe aprovechar la experiencia de este personal y el momento para realizar mejoras con vistas al futuro. De esta forma se logra una plantilla responsable e implicada con el proyecto. [7]

## **Concepto 2: Proceso (Eliminación de los despilfarros)**

***“Principio 2: Cree procesos en flujo continuo para hacer que los problemas salgan a la superficie”***

El flujo pieza a pieza, con inventarios cero y manteniendo un ritmo de fabricación según la demanda del cliente (tack time) es el objetivo que se debe establecer para eliminar de esta manera los despilfarros. De esta forma será detectado de manera más rápida todo aquello que impida satisfacer las necesidades del cliente.

Dependiendo del tipo de producto o servicio, se debe adaptar este principio a un flujo determinado y para ello es utilizada una potente herramienta visual Value Stream Mapping, VSM (Mapa de flujo de valor).

Este principio propone organizar los departamentos por líneas de producto, de forma que una determinada plantilla de trabajadores organice sus recursos en sacar la cantidad de producto correcta en el momento correcto. De forma contraria, si los departamentos se organizan por funciones, se crean stocks intermedios y/o sobreproducción pues cada uno de ellos busca su óptimo sin tener en cuenta el estado de los procesos siguientes.

***“Principio 3: “Utilice sistemas PULL (tirar) para evitar producir en exceso”***

Es el cliente el que demanda lo que necesita y tira de la producción. Al utilizar este sistema se aumenta el control de lo producido, eliminando de esta forma la sobreproducción e inventarios. Solo se produce una cierta cantidad de piezas cuando en los últimos procesos (aguas arriba) se manda una señal de necesidad de entrega a cliente a los primeros procesos (aguas abajo). Un sistema utilizado para la aplicación práctica de este principio, es el sistema Kanban.

***“Principio 4: “Nivele la carga de trabajo, Heijunka”***

Este principio propone la nivelación de la carga de trabajo con el estudio de los inventarios y la demanda. Deben de ser eliminados la sobrecarga de materiales y personal, para así conseguir un ritmo de trabajo estable y continuo en el tiempo.

***“Principio 5: “Cree una cultura de parar a fin de resolver los problemas, para lograr una buena calidad a la primera”***

Toda la plantilla debe participar en la realización de los procesos asegurando la calidad del producto, detectando los problemas y parando la producción en el momento de producirse. Posteriormente el propio equipo es el que debe encontrar la causa raíz del problema e implementar acciones correctoras del defecto. Para ello existen herramientas Lean como son “los 5 por qué” o el diagrama de Ishikawa. Una vez detectado el problema las herramientas como los sistemas Poka-Joke (anti-error) ayudan a la aplicación de contramedidas.

***“Principio 6: “Las tareas estandarizadas son el fundamento de la mejora continua y de la autonomía del empleado”***

La estandarización en el proceso permite reducir variables en operaciones que puedan originar algún error durante su realización. Normalizando los procesos se le proporciona autonomía al trabajador, dándole libertad para innovar y animándole a proponer opciones de mejora. El equipo documenta, repite y estandariza de nuevo el proceso. [7]

***“Principio 7: “Utilice control visual de modo que no se oculten los problemas”***

La gestión de la producción en la compañía debe ser visual, de forma que exista transferencia y comunicación de la información entre todos los miembros de la plantilla. Para ello se utilizan las “salas de guerra” y los “informes 3D” medios por los cuales se puede ver representado toda la información de un solo vistazo.

***“Principio 8: “Utilice solo tecnología fiable absolutamente probada que dé servicio a su personal y a sus procesos”***

La compañía debe destacar en la utilización y adaptación de la tecnología a su proceso productivo, con el único fin de mejorar y facilitar el trabajo en las operaciones donde se apliquen, indistintamente si es última tecnología o no.

**Concepto 3: Gente y socios (Respeto, retos y continua evolución)*****“Principio 9: “Haga crecer a líderes que comprendan perfectamente el trabajo, vivan la filosofía y la enseñen a otros”***

Los líderes deben ser elegidos de la propia compañía ya que conocen a fondo la organización, el estilo de trabajo y la cultura.

Pero para la creación de líderes debe de tenerse en cuenta las siguientes características:

- La implementación de un proyecto a largo plazo, eliminando los cambios a corto plazo y los cambios de tendencia.
- Considerar los errores como medio de aprendizaje sin que estos marquen negativamente al reconocimiento laboral, frenando y estancando la evolución de la organización.
- Plantillas organizadas en equipos de líneas de trabajo, multifuncionales, favoreciendo y fomentando la creación de valor añadido en los diferentes flujos, ya que de esta manera tienen una mejor visión de las necesidades para el cumplimiento de las entregas.

***“Principio 10: “Desarrolle personas y equipos excepcionales que sigan la filosofía de su empresa”***

Fundamentado en los conceptos tratados anteriormente, los equipos de trabajos deben de tener responsabilidad a nivel individual, autonomía en cada uno de sus integrantes y orientados al flujo de valor.

La organización debe estructurarse de manera jerárquica, pero siempre tener como objetivo el flujo de valor. Además de tener la capacidad de decisión y autonomía en cada uno de los diferentes equipos según el nivel jerárquico al que pertenezcan. [7]

***“Principio 11: “Respete a su red extendida de socios y proveedores, desafiándose y ayudándoles a mejorar”***

El concepto de “empresa extendida”. Utiliza los criterios anteriores de proyectos a largo plazo, mejora continua, respeto...

#### **Concepto 4: Resolución de problemas (Mejora continua y aprendizaje)**

***“Principio 12: “Vaya a verlo por sí mismo para comprender a fondo la situación (Genchi Genbutsu)”***

La empresa debe gestionar cerca de los procesos y de los trabajadores. Para dirigir y resolver un problema no basta con la toma de datos para su posterior análisis, el problema debe verificarse insitu para comprender realmente el contexto de lo que sucede.

***“Principio 13: “Tome decisiones por consenso lentamente, considerando concienzudamente todas las opciones; impleméntelas rápidamente”***

La toma de decisiones debe contemplar los siguientes 5 elementos:

1. Averiguar lo que realmente ocurre (Genchi Genbutsu)
2. Buscar la causa raíz (5 por qué)
3. Valorar las diferentes soluciones encontradas y discutir la elegida
4. Llegar a una conclusión dentro del equipo
5. Usar herramientas de comunicación adecuadas para la realización de los pasos anteriores

***“Principio 14: “Conviértase en una organización que aprende mediante la reflexión constante (Hansei) y la mejora continua (Kaisen)”***

Se debe crear un flujo continuo, teniendo siempre como objetivo la reducción de los inventarios. Detección de la producción por el operario cuando encuentra irregularidades ya que su autonomía lo permite. Analizar los problemas con herramientas (5 por qué), implantar acciones correctoras y estandarizar de nuevo el proceso.

Repetir este ciclo en cada uno de los procesos convierta la organización en una “organización que aprende”. [7]

#### **3.2.4 Estructura del sistema Lean**

La filosofía Lean implica un transformación cultural de la empresa que necesita de un elevado compromiso por parte de la dirección de la compañía que desee implementarla. A este sistema se le han ido implementando una serie de técnicas con un objetivo en común, la eliminación de desperdicios. [1]

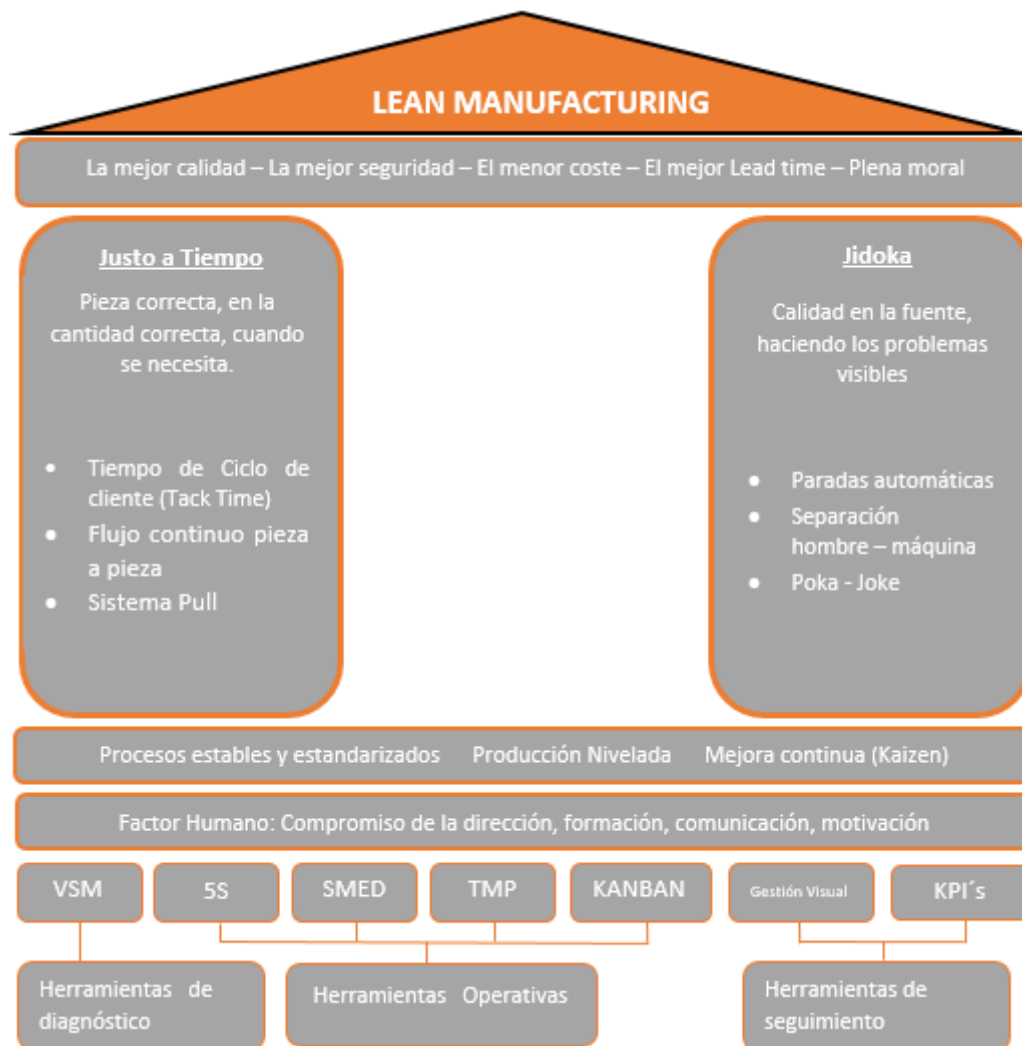
**Tabla 2:** Herramientas para la implementación de Lean [1]

Lista de técnicas para la mejora de sistemas Productivos	
1. 5s	2. Orientación al cliente
3. Control Total de Calidad	4. Control Estadísticos de Procesos
5. Círculos de Control de Calidad	6. Benchmarking
7. Sistemas de sugerencias	8. Análisis e ingeniería de valor
9. SMED	10. Teoría de las restricciones, TOC
11. Disciplina en el lugar de trabajo	12. Coste Basado en Actividades
13. Mantenimiento Productivo Total, TPM	14. Seis Sigma
15. Kanban	16. Mejoramiento de la calidad
17. Nivelación y equilibrado	18. Sistema Matricial de Control Interno
19. Just in Time, JIT	20. Cuadro de Mando Integral
21. Cero Defectos	22. Presupuesto Base Cero
23. Actividades en grupos pequeños	24. Organización de Rápido Aprendizaje
25. Mejoramiento de la productividad	26. Despliegue de la Función de Calidad
27. Jidoka	28. AMFE
29. Técnicas de gestión de calidad	30. Ciclo de Denning
31. Detección y eliminación de desperdicios	32. Función de Pérdida de Taguchi



Para la representación visual del modelo de gestión Lean y las técnicas que se aplican en ella, es utilizado un modelo adaptado de la “Casa del Sistema de Producción Toyota”.

**Gráfica 2:** Sistema de producción Toyota, TPS. [1]



Como se puede ver en la gráfica 2, se representa una casa que se debe construir por sus cimientos. Estos dan la estabilidad a partir de una cultura de empresa orientada a largo plazo, a que todos los miembros de la organización tengan la información adecuada, exista compromiso por parte de la dirección por el proyecto Lean en la empresa, una formación y capacitación adecuada y una motivación e implicación por parte de todos los miembros de la compañía. Por lo que hace que el factor humano sea indispensable para la implantación del sistema Lean. La base de la casa también está constituida por la nivelación de la producción (Heijunka), mejora continua y la estabilización de cada uno de los diferentes procesos.

Los pilares que sostienen este sistema son el JIT y el Jidoka. El primero, creado por Taiichi Ohno, es el sistema de producción Just in Time que tiene como objetivo conseguir la eliminación de los despilfarros que existen en un sistema productivo para disminuir así los costes.

En la producción JIT lo que se busca es poner los materiales y productos a disposición de cada proceso o del cliente final: fabricar los artículos necesarios, en las cantidades solicitadas por el cliente y en el instante preciso en el que las desea. Por lo tanto esto es la base de una eficiencia sobre el proceso y en su producto, permitiendo dar la seguridad al cliente del control del lead time de fabricación y de los plazos de entrega por parte del proveedor. [1]

Este sistema se apoya en dos características fundamentales:

- La flexibilidad en los productos, procesos y en la polivalencia de los trabajadores.
- La eliminación de todo tipo de despilfarro.

En el segundo se busca dar la autonomía al operario para detener la producción ante cualquier anomalía. De esta manera se puede actuar directamente en el problema y solucionar las irregularidades antes de que siga avanzando el proceso productivo.

Por último, en el techo se refleja aquellos objetivos marcados y que deben ser alcanzados como son: la mejora en la calidad, una reducción en los costes, disminución en los tiempo de entrega a cliente, mayor seguridad, y una mayor motivación e implicación de la plantilla en el proyecto Lean.

Para llevar a cabo esta metodología son utilizadas una gran variedad de técnicas que se clasifican según se utilicen para el análisis del sistema implementado, de las operaciones o para el seguimiento del proceso.

### 3.2.5 Concepto de despilfarro vs valor añadido

Lean manufacturing propone un cambio cultural que consiste en estudiar la eficiencia y productividad de todos los procesos y distinguir en ellos dos conceptos “valor añadido” y despilfarro”. En general las empresas analizan sus indicadores de productividad sobre lo que ya se ha realizado, pero antes de eso, se deben plantear si su sistema productivo está correctamente realizado y diferenciar en él lo que tiene “valor” (operaciones que añaden valor al producto) de lo que es un “desperdicio” (operaciones que no añaden valor al producto). Sin embargo se debe tener en cuenta que existen operaciones que aunque sean “desperdicio”, son necesarias e indispensables por lo que se deberán de asumir dentro del proceso productivo.

Para el cálculo de los costes en la filosofía Lean, la fórmula es la siguiente:

$$\text{Margen de beneficio} = \text{Precio de mercado} - \text{Coste}$$

**Ecuación 1:** Ecuación para el cálculo del margen de beneficio

El planteamiento Lean parte de un precio de mercado que los competidores dentro del sector siempre intentarán rebajar (coste de mercado). Por otro lado el margen de beneficio de la empresa siempre deberá ir en aumento según los objetivos de la alta dirección (Margen de beneficio), por lo que las organizaciones deben luchar por minimizar los costes, reduciendo o suprimiendo todas aquellas operaciones que no añadan valor al producto y así conseguir el mayor beneficio.

Lean propone una metodología cuyo objetivo es la eliminación sistemática de los despilfarros:

- Localizar el desperdicio y el valor añadido dentro del proceso de la compañía

- Eliminación de los desperdicios utilizando las herramientas Lean
- Estandarizar de nuevo el proceso con mayor carga de valor añadido para posteriormente repetir el proceso.

El principal objetivo de esta metodología es que cualquier personal dentro del equipo de trabajo, abarcando desde la dirección hasta los operarios participe en la mejora de los diferentes procesos que se realizan dentro de la empresa.

Para mayor facilidad en su reconocimiento, a continuación se presenta una lista de los diferentes tipos de desperdicios que nos podemos encontrar:

- Desperdicios por exceso de inventario
- Desperdicio por sobreproducción
- Desperdicios por tiempos de espera
- Desperdicios por “transporte” y “movimientos innecesarios”
- Desperdicios por defectos y reprocesos.

### 3.3 Descripción de las herramientas Lean Manufacturing

#### 3.3.1 Uso de las técnicas y clasificación

El Lean manufacturing se lleva a la práctica a través de un gran variedad de herramientas diferentes entre sí y que se han ido utilizando un gran número de empresas.

Las herramientas Lean pueden ser utilizadas de manera conjunta o de forma independiente, según las especificaciones que se deseen obtener en cada caso.

Existe un gran número de técnicas y herramientas Lean, las cuales dependiendo del experto en la materia que las trate, se engloban en un tipo de clasificación u otra. Según la bibliografía consultada se puede establecer una clasificación coherente y simplificada, ordenándolas en tres grupos.

##### **Primer grupo**

Este primer grupo engloba aquellas técnicas con unas características que permiten su perfecta aplicación a cualquier empresa/producto/sector, ya que se ha demostrado su enfoque práctico y el éxito obtenido tras su implementación. Pertenecen a este grupo:

- **5s.**
- **SMED.**
- **Estandarización.**
- **TMP.**
- **Control Visual.**

### Segundo grupo

Las técnicas recogidas en este grupo, aunque son aplicables a cualquier tipo de empresa, necesitan de un mayor compromiso y cambio cultural por parte de todos los miembros de la compañía.

- **Jidoka.**
- **Técnicas de calidad.**
- **Sistemas de participación personal (SPP).**

### Tercer grupo

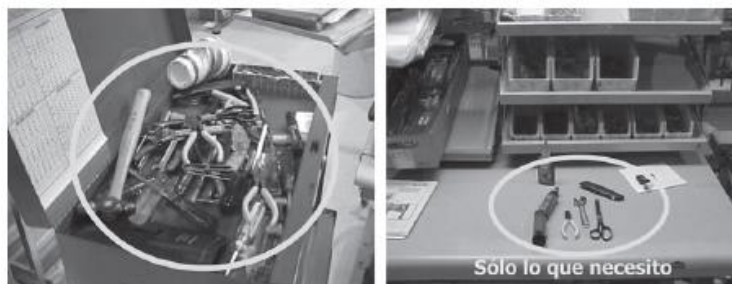
En este grupo se incorporan las técnicas más específicas que modifican la forma de gestión (planificación, programación y control) de la producción y la cadena logística. Estas herramientas son más avanzadas que las anteriores y exigen unos recursos especializados para llevarse a cabo.

- **Heijunka.**
- **Kanban.**

#### 3.3.2 5's

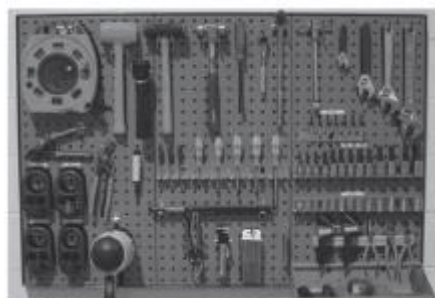
La herramienta 5S consiste en la aplicación sistemática principios de orden y limpieza en el puesto de trabajo. El acrónimo corresponde a las iniciales de cinco palabras japonesas que definen a la herramienta:

- Seiri (Eliminar lo innecesario): Consiste en localizar y eliminar del área de trabajo todos aquellos elementos inútiles y/o que no se vayan a usar (ver figura 3).



**Figura 3:** Ejemplo de aplicación de Seiri [3]

- Seiton (Ordenar): Las zonas de almacenaje de estar delimitada y colocarse en su sitio determinado.



**Figura 4:** Ejemplo de aplicación de Seiton [3]

- Seiso (Limpiar e inspeccionar): Consiste en realizar limpiezas e inspecciones periódicas en el entorno de trabajo con el fin de identificar los defectos, eliminarlos y prevenir otros posibles.
- Seiketsu (Estandarizar): Asumidas las 3 fases anteriores, se necesita estandarizar los procesos y crear un determinado procedimiento de manera que la organización y el orden sean fundamentales
- Shitsuke (Crear hábito): Esta última fase tiene como objetivo transformar en hábito todos los métodos implementados en las fases anteriores.

Es una técnica aplicable a cualquier empresa, sencilla y efectiva por lo que debe ser la primera herramienta a implementar dentro de un entorno Lean. Los resultados se pueden apreciar a corto plazo. Es una manera rápida de conseguir una actitud positiva e implicación entre los miembros de la empresa.

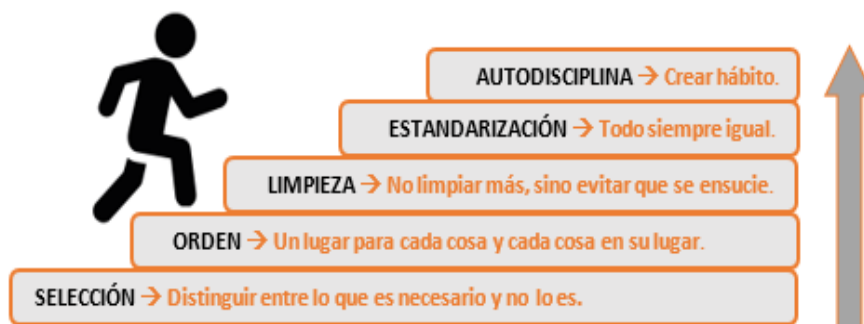
La implantación de esta herramienta del Lean Manufacturing tiene por objetivo evitar que se presenten síntomas en la empresa de:

- Aspecto sucio de la planta: máquinas, instalaciones, técnicas, etc.
- Desorden: pasillos ocupados, técnicas sueltas, embalajes, etc.
- Elementos rotos: mobiliario, cristales, señales, topes, indicadores, etc.
- Falta de instrucciones sencillas de operación.
- Desinterés de los empleados por su área de trabajo.
- Movimientos y recorridos innecesarios de personas, materiales y utillajes.
- Falta de espacio general. [1][3]

La implantación de esta herramienta Lean sigue un proceso de 5 pasos para su establecimiento.

Para ello es necesario la adaptación de todos los miembros de la empresa en la misma cultura, la asignación de los recursos para aplicar todo lo necesario y la consideración de los aspectos humanos. La gráfica 3 resume 5 principios básicos a seguir en orden ascendente. [3]

**Gráfica 3:** Fases de implementación de herramienta 5's [1]



### 3.3.3 Cambio rápido de herramienta. SMED

Esta herramienta, originalmente “Single minute exchange of die” significa que el tiempo de preparación en minutos debe de tener solo una cifra, es decir menor de 10. Esto proviene de la necesidad de reducir los tiempos de preparación en máquina ya que así se podría minimizar el tamaño de los lotes, por consiguiente reducir los stocks y trabajar en series cortas de producción. Es una herramienta que permite disponer de una mayor flexibilidad y adaptación a los cambios constantes en la producción.

En las empresas la reducción de tiempo de preparación de máquina no debe hacerlo el personal de organización, sino que deben promoverlo los propios operarios reunidos en pequeños grupos de trabajo. Para su aplicación es necesario considerar estas tres ideas fundamentales

- Siempre es posible reducir los tiempo de cambio de serie hasta casi eliminarlos completamente
- Nos es un problema técnico, sino también de organización
- Los máximos resultado a menor coste se obtienen solo con un método riguroso.

#### **Procedimientos de tiempo de cambio en máquina.**

Los tiempos de cambio en máquina se pueden agrupar en cuatro grupos diferentes:

- Cambio de utillajes y herramientas
- Cambio de parámetros estándar de la máquina
- Cambio de piezas y/o ensamble de otros materiales
- Preparación general previa antes de la fabricación. [1][3]

### 3.3.4 Estandarización

Los procesos estables y estandarizados suponen uno de los cimientos más importantes en el Lean Manufacturing.

El proceso de estandarización consiste en normalizar de forma escrita y gráfica todas aquellas técnicas de una fábrica, afectando a todos los procesos de la empresa donde exista el uso de personas, materiales, máquinas, métodos, mediciones e información.

La estandarización se encuentra como punto de inicio y final de la mejora continua, por esta razón es la principal herramienta del éxito del Lean. [1][3]

Para llevar a cabo una correcta estandarización se debe tener en cuenta los siguientes cuatro principios:

1. Ser descripciones simples y claras de los mejores métodos para producir.
2. Proceder de mejoras hechas con las mejores técnicas y herramienta disponibles en cada caso.
3. Garantizar su cumplimiento.
4. Considerarse como puntos de partida para mejoras futuras.

Partiendo de estos principios, el proceso estandarizado para la aplicación de la estandarización de los procesos es el siguiente:

1. Definir un estándar de la manera de hacer las cosas.
2. Mejorar dicho estándar.
3. Verificar el efecto de la mejora.

### 3.3.5 Control Visual

La aplicación de las herramientas de control visual tiene como objetivo facilitar los medios de comunicación y la transferencia de información entre el sistema productivo y el resto de trabajadores, haciendo especial hincapié en las anomalías y despilfarros.

Existen numerosas técnicas y ejemplos de control visual, y pueden clasificarse en los siguientes tres grupos:

- Control visual de espacios y equipos: Identificación de espacios y equipos, marcas limitantes sobre el suelo, información e instrucciones sobre zonas del taller, etc.
- Documentación visual en el puesto de trabajo: Instrucciones de operaciones y mantenimiento en máquina, especificaciones del producto, identificaciones de defectos comunes, etc.
- Control visual de la producción: Programa de producción, identificación de stocks, indicadores de productividad, etc. [1]

### 3.3.6 Jidoka

La herramienta Lean Jidoka, recibe su nombre de “automation with a human touch”. Es decir, es una técnica que consiste en un sistema de control autónomo, pero con un toque humano. Se basa en atribuir la responsabilidad al operario del control de la máquina y además de su detección y parada de la producción si esta, no es conforme (de ahí el human touch).

Con esta herramienta lo que se pretende es diseñar un sistema productivo que evite las unidades defectuosas. Teniendo como objetivo el autocontrol de calidad por parte de cada operario del trabajo que esté realizando, impidiendo que las piezas defectuosas avancen en el flujo.

Las técnicas Jidoka se implementan con máquinas automatizadas, capaces de prevenir mediante mecanismos y sensores, la defectología de un producto y parar la producción automáticamente. También se implementan señales luminosas de alerta en máquina (sistema Andon), las cuales se activan cuando el operario detecta alguna no conformidad en la pieza. Automáticamente se detiene la producción y no se pone de nuevo en funcionamiento hasta que el problema se haya resuelto. [1][3]





**Figura 5:** Señal Andon colocada sobre un puesto de trabajo [1]

### 3.3.7 Técnicas de Calidad

Un pilar fundamental en la filosofía Lean Manufacturing es la garantía de la alta calidad, que se entiende como el compromiso de todos los miembros de la empresa de hacer las cosas “bien a la primera”, “tener cero defectos” en todos los procesos, y así satisfacer las necesidades del cliente. Sin embargo, la búsqueda de soluciones para contribuir a ello no es fácil y para ello se utiliza una serie de herramientas que propone Lean Manufacturing para alcanzar los objetivos de calidad deseados. [1]

#### **Chequeos de autocontrol**

Los chequeos de autocontrol consisten en atribuir la responsabilidad al operario que aparte de realizar su operación productiva, también la verifica.

Estos chequeos pueden reducir en una quinta parte la tasa de defectos y aumenta la eficiencia del proceso. Aunque puede resultar complicado que los propios trabajadores tengan un espíritu crítico con su trabajo.

#### **Ciclo PDCA**

La técnica de calidad PDCA (Plan-Do-Check-Act) o también conocido como círculo de Deming es una de las técnicas más importantes a la hora de identificar y solucionar defectos.

En el entorno Lean el ciclo “planificar-hacer-comprobar-actuar” se debe utilizar para guiar todos los procesos de mejora continua, llevando a cabo la siguiente planificación:

- Plan: Análisis de la situación inicial. Planificación y estudio de viabilidad.
- Do: Selección de línea/área piloto. Implantación de mejoras en línea piloto. Formación del personal.
- Check: Verificación de la efectividad de las mejoras.
- Act: Desarrollo de conclusiones y decisión de realizar un nuevo “Plan” o finalizar el ciclo pasando a la S “Estándar”.



### 3.3.8 Sistema de participación del personal

Los sistemas de participación del personal (SPP) se definen como el conjunto de actividades estructuradas de forma sistemática que permiten canalizar de forma eficiente todas aquellas iniciativas que se proponen para contribuir al incremento de la competitividad empresarial.

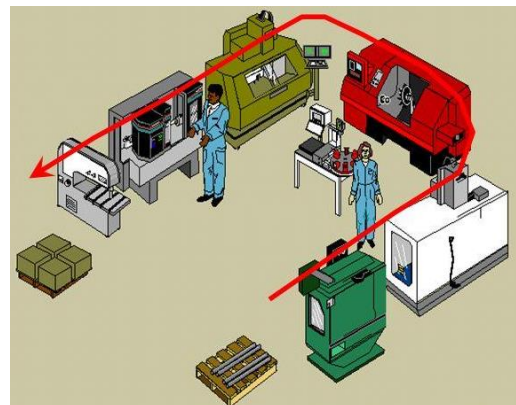
Es decir, es un sistema que atribuye al personal la capacidad de expresar sus ideas con respecto a iniciativas de mejora o cambio y que puedan ser escuchadas. En el caso de que sean viable se ponen en marcha.

Estos sistemas consiguen una mayor implicación del personal en su trabajo, aprovechando todo el potencial individual de los trabajadores mediante la canalización de sus sugerencias. [3]

### 3.3.9 Heijunka

La técnica Lean Heijunka se utiliza para la planificación y nivelación de la demanda de los clientes en volumen y variedad en las diferentes operaciones de un determinado proceso productivo durante un periodo de tiempo. En esta metodología se utiliza una serie de herramientas para poder alcanzar un flujo constante en la producción, un ritmo determinado y estandarizado. Estas herramientas son:

- Uso de células de trabajo: Distribución del Layout de la planta orientado al producto. En este tipo de distribuciones las estaciones de trabajo organizan en forma de "U" creando entre los diferentes puestos de trabajo un flujo flexible.



**Figura 6:** Ejemplo de usos de células de trabajo en U

- Flujo continuo: Se trabaja de modo "pieza a pieza". Se asegura que cada pieza siga un flujo continuo a lo largo de la cadena de valor en el menor lead time posible y con un despilfarro mínimo. [1][3]
- Producción respecto al Tack Time (tiempo de ritmo): Se define el tack time como el tiempo en el que una pieza debe ser producida para satisfacer la demanda del cliente. Es decir, la cadencia de fabricación que debe de seguir la línea de producción. El Tack time se define por la siguiente fórmula:

$$Tack\ Time = \frac{\text{tiempo de trabajo}}{\text{producción requerida}} = \frac{\text{tiempo de turno} - \text{tiempo no productivo}}{\text{producción} + \text{número de piezas scrap}}$$

**Ecuación 2:** Ecuación para el cálculo del tack time

- Nivelación del volumen de producción: Se trata de entregar a la línea de producción unidades de trabajo pequeñas cuando se tiene una elevada obra en curso, y, simultáneamente retirar la misma cantidad de producto terminado. Reduciendo el número de elementos en producción.

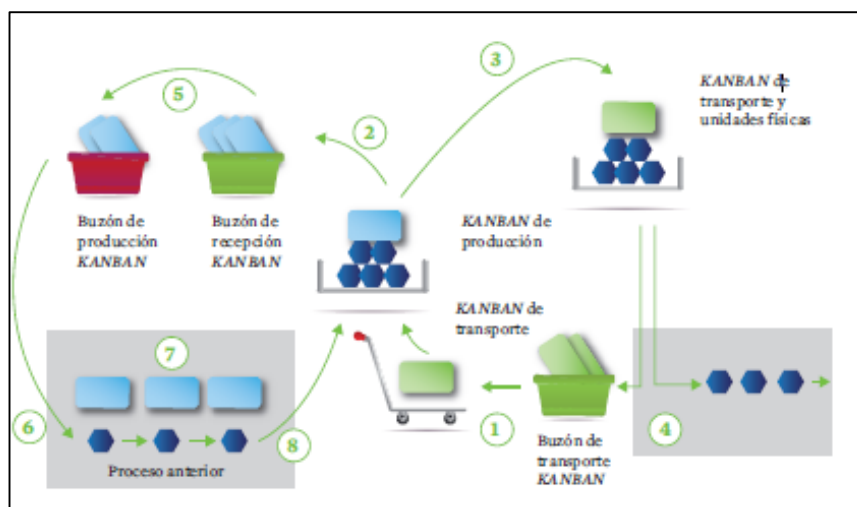
Por lo tanto los objetivos de esta técnica también denominada "producción nivelada" persigue los objetivos nombrados a continuación:

- Obtiene una producción nivelada, satisfaciendo la demanda del cliente. Se entrega lo necesario sin tener que esperar a la fabricación del lote completo.
- Se estabiliza la plantilla al tener una producción regular y estabilizada también.
- Se reduce los stocks pues se produce en lotes de menor tamaño.
- Mayor capacidad de absorción de posibles variaciones en la demanda.

### 3.3.10 Kanban

Se denomina Kanban a un sistema de control basado en tarjetas para la sincronización de la producción. Es una de las principales herramientas para asegurar la producción de la cantidad justa en el momento en que se necesita (JIT).

**Gráfica 4:** Ejemplo de aplicación de sistema Kanban [1]



Como se puede observar en la gráfica 4, el funcionamiento de un sistema Kanban trata de que cada proceso recoge del proceso anterior lo que necesita, retirando además la tarjeta Kanban para crear la necesidad a dicho proceso anterior de reponer el mismo material para realizar de nuevo la operación.

Este flujo comienza desde la emisión del pedido por parte del cliente, hasta la entrega final, sincronizándose de esta forma todos los procesos. En cada estación se encuentran los buzones de tarjetas Kanban y pueden ser de producción o de transporte.

En cada tarjeta se puede encontrar la siguiente información:

- Part Number

- Áreas del proceso
- Cantidad a producir
- Almacén
- Normas y especificaciones.

Por lo tanto los objetivos que se persiguen con la implementación de este sistema son:

- Simplificar las tareas de control de producción.
- Regular y reducir los niveles de stocks internos.
- Facilitar la localización y resolución de problemas de calidad.
- Conseguir un flujo continuo de la producción y la nivelación y equilibrado de los procesos mediante un sistema pull. [1][3]

### 3.4 Hoja de ruta para la aplicación del VSM

Hasta ahora se han desarrollado los principios y las herramientas en las cuales se basa la filosofía Lean Manufacturing. A continuación se expondrá una herramienta que da soporte a la implementación de las técnicas anteriormente vistas y que será la herramienta principal utilizada para el desarrollo del presente trabajo: El Mapa de Flujo de Valor o Value Stream Map (VSM).

#### 3.4.1 Definición de Value Stream Mapping

El Value Stream Mapping o Mapeado de la Cadena de Valor fue desarrollado por Toyota, creando una potente herramienta visual usada para generar mapas de flujo de información y materiales de gran importancia para entender un sistema productivo.

Esta herramienta permite plasmar gráficamente el flujo completo de producción desde el proveedor hasta el cliente, representando los procesos de fabricación intermedios hasta llegar a ser producto terminado.

En un VSM se representa:

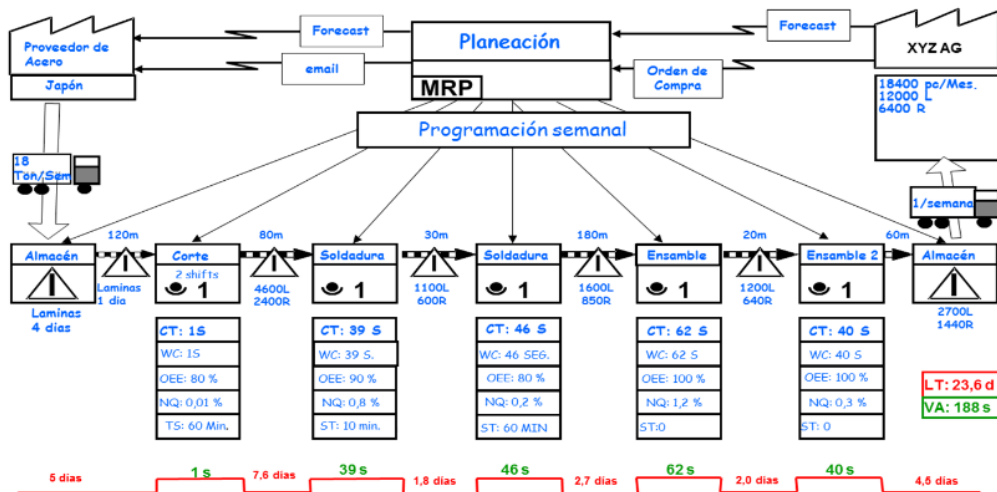
- La secuencia de operaciones del proceso.
- La secuencia de operaciones y movimiento de los materiales y productos.
- El flujo de información entre factorías y procesos.

El objetivo principal en un VSM es permitir una rápida identificación de las operaciones de un sistema productivo que aporten valor con respecto al resto de operaciones que se consideren desperdicios, permitiendo su posterior eliminación o transformación en operaciones de valor añadido. Posibilita priorizar las acciones de mejora futura y revisar el correcto cumplimiento con respecto las necesidades del cliente o por el contrario las dificultades para satisfacerlas.

Los resultados esperados con la elaboración de un VSM son: reducir el lead time de producción, reducir los costos de producción y aumentar la eficiencia y productividad.

Por lo tanto, tiene como objetivo representar en un papel, de manera simple todas las actividades productivas para identificar la cadena de valor y detectar donde se producen los desperdicios en el proceso. En la siguiente imagen se representa a modo de ejemplo un VSM. [1]

**Gráfica 5:** Ejemplo de representación de un VSM [11]



### 3.4.2 Método operativo para representación del mapa VSM

Previo a la descripción de los pasos para la elaboración de un Value Stream Mapping se tendrá que tener en cuenta las siguientes consideraciones:

- Se debe entender cuál es la situación actual antes de decidir cómo se pretende que sea la situación futura.
- Los datos que se representan deben de ser cuantificados y útiles, de manera que no se representen datos e información irrelevante.
- Se deben utilizar los símbolos preestablecidos para la representación gráfica (ver anexo 1). La representación debe de empezar en una pizarra o a lápiz sobre un folio ya que se suelen producirse números cambios hasta llegar al VSM definitivo.
- Debe anotarse solo el proceso y no excepciones en dicho proceso

#### 1. Seleccionar una familia de productos y recoger los datos necesarios

El primer paso para la elaboración de un Value Stream Mapping es conocer cuál es la situación inicial de partida. Se deberá elegir el producto que se desea estudiar y plasmar cual es la situación actual. Para ello se debe perseguir paso a paso el proceso productivo en su totalidad, el flujo de materiales y de información, de esta manera se representará sobre el papel la realidad.

Para la recogida de los datos de cada operación que se lleva a cabo en los diferentes procesos se utilizará la "Standar work combination sheet" (Ver anexo 2). En este formato se apuntará para cada paso correspondiente, si se trata de una operación de valor añadido, de una inspección, un transporte, una espera o un stock.

Análogamente, se toma los tiempos de cada operación rellenando los intervalos de tiempo según leyenda mostrada en la “estándar work combination sheet”.

## **2. Dibujar un estado inicial. VSM actual**

En este punto se comienza a plasmar el estado del VSM actual. Siguiendo los pasos que se muestran a continuación. También se debe disponer de un sistema formal de símbolos que permite representar todos aquellos procesos de un sistema productivo.

### **2.1 Dibujar los clientes y proveedores.**

La representación gráfica se debe comenzar por la colocación del símbolo “fábrica” (preferiblemente en la zona derecha del mapa). Justo debajo del icono se situará una caja de datos donde se mostrarán los requerimientos y necesidades del cliente. Se debe incluir las necesidades mensuales y diarias de cada producto, y el número de contenedores necesarios por día. Aplicar las mismas condiciones para el proveedor, pero este se situará en la zona opuesta del mapa.

### **2.2 Dibujar los procesos productivos.**

A continuación se representan los diferentes procesos que forman al proceso productivo. Se representan con el símbolo “caja de proceso” y se colocarán de forma consecutiva según el flujo de producción, de izquierda a derecha (preferiblemente en la zona inferior de la hoja). En el caso de que dos procesos no sean consecutivos, es decir, se realizan paralelamente, se colocarán uno encima del otro.

Debajo de cada proceso se colocará una “caja de datos” con la información específica de cada proceso. En el caso del presente proyecto la información a incorporar será la siguiente:

- Lead time de ciclo del proceso ( $LT_{CL}$ )
- Tiempo de cambio de producto (TCP)
- Tiempo de funcionamiento (TF)
- Nº de operarios
- Nº de turnos
- Tiempo disponible por turno de trabajo

### **2.3 Representar la salida y la entrada de material entre factorías.**

Para representar los movimientos logísticos se utilizará el símbolo de “flecha logística” en la dirección que corresponda (dirección del transporte). Acompañada del símbolo “camión” donde se indica la frecuencia de envío de los elementos.

### **2.4 Representar los inventarios intermedios entre procesos.**

Agregar el icono de “inventarios” entre las operaciones donde existan stocks intermedios. Dibujar una caja de datos debajo de dicho icono donde se indicará la cantidad de Stock intermedio medio.

### **2.5 Dibujar los flujos de información.**

Una vez representado todos los procesos e indicado sus respectivos datos se procede a la representación gráfica de los flujos de información, como por ejemplo información de realización de procesos, prioridades de producción, informes por parte del departamento de calidad, etc. Se añade al flujo de información que sea útil, tanto electrónica como manual. Para su representación se utilizan flechas estrechas, tal y como muestran los símbolos de “información electrónica” e “información manual”.

### **2.6 Dibujar la relación entre los procesos.**

Representar entre los cuadros de procesos y los símbolos de inventarios intermedios la relación entre procesos con los símbolos de “flecha blanca” o “flecha rayada” dependiendo de si la metodología entre procesos es “pull” o “push”, además de indicar cuál es el proceso siguiente.

### **2.7 Representar líneas de tiempo.**

El último paso de la construcción del VSM es la de representar en una línea escalonada de dos niveles los lead time de cada proceso e inventario. En el caso de que sean tiempos de “valor añadido” (lead time de los procesos), estos se indicarán en el nivel inferior. Por otro lado, los tiempos de “no valor añadido” (lead time de los stocks intermedios) se colocarán en el nivel superior.

Para finalizar, se indicará en un cuadro resumen al final de esta línea de tiempo la suma total de los tiempos de valor-añadido y no-valor-añadido. La suma de estos dos valores también será indicado y corresponderá con el Lead Time total del proceso.

## **3. Desarrollar un estado ideal (VSM futuro).**

Una vez representado el mapa de la cadena de valor actual, hay que desarrollar el mapa del estado futuro, es decir la situación más ideal de eficiencia que se pretende alcanzar en nuestro sistema productivo.

Para ello se debe indicar sobre el VSM actual con el símbolo correspondiente las oportunidades de mejora que se vayan a proponer. Estas oportunidades de mejora deben de impulsarse por medio de herramientas y técnicas Lean.

Las principales características de un flujo Lean se pueden revisar en apartado: “3.1.3 principios del sistema Lean”. Por lo que se tendrán como objetivos alcanzar y cumplir dichos principios que deberán reflejarse en un estado futuro en el sistema productivo ya transformado. [1][6]

### 3.4.3 Método operativo para implementación de VSM futuro

#### 3.4.3.1 Generación del VSM futuro

La finalidad de la representación del VSM actual es mostrar de forma clara las causas de los desperdicios, para posteriormente eliminarlas, implantar oportunidades de mejora y crear un estado ideal, un VSM futuro. Para ello será necesario crear un plan de trabajo, evaluar las distintas oportunidades de mejora encontradas y orientar las acciones que se propongan. [8]

Se deberá dar respuesta a las siguientes preguntas claves para poder trazar el mapa del estado futuro:

1. ¿Cuál es el tack time teórico del producto?
2. ¿Qué cantidad de obra en curso teórica se debe tener?
3. ¿Cuál es el lead time teórico del producto?
4. ¿Es necesario almacenar los productos en supermercados de productos terminados, o tras producirlos se envían directamente para expedición?
5. ¿En qué procesos de la línea de producción se puede introducir flujo continuo?
6. ¿Dónde se puede introducir “supermercados” para controlar la producción?
7. ¿En qué procesos se puede aplicar un sistema pull?
8. ¿En qué proceso/s se debe controlar la producción (proceso marcapasos)? ¿Se puede controlar en un solo proceso de producción?
9. ¿Se distribuye uniformemente en el tiempo la fabricación de los distintos productos?
10. ¿Qué mejoras afines a los procesos se necesitará aplicar para que el flujo sea el que se describe el VSM futuro?

Una vez respondidas, se llevará a cabo la representación del VSM futuro, planteando las herramientas Lean y técnicas necesarias para llegar hasta ese estado “ideal”. [8]

### 3.4.3.2 Estrategia general del trabajo (TIP)

Una vez alcanzado este punto y definido como será el VSM futuro, se deberá evaluar las distintas oportunidades de mejora que se hayan propuesto entre los miembros de un equipo de trabajo definido. Para la evaluación, se tendrán en cuenta las mejoras económicas y productivas esperadas con la puesta en marcha de las dichas propuestas.

Una vez confirmadas las oportunidades de mejora que se desarrollarán, se realiza un Plan Táctico de Mejora (TIP). El TIP, es una representación visual de las tareas que se requieren para alcanzar los objetivos planteados. Es uno de los principales métodos para planificar el camino a seguir para ir desde el estado actual al estado futuro.

El TIP deja claro a todos, exactamente que hay que hacer, cuándo y por quién y permite la revisión del avance de las tareas en el calendario.

Los pasos a seguir para la el desarrollo del TIP son los siguientes:

#### **PASO 1: Realizar un ejercicio de Brainstorm**

Para comenzar con el Brainstorm entre los miembros del equipo primero se debe existir una serie de inputs que deben de conocerse. Esto es, entender las características y detalles de la línea de producción a mejorar, el Value Stream Mapping Futuro que se quiere llegar a alcanzar y las herramientas Lean necesarias para llevar a cabo las diferentes tareas.

Este ejercicio se realizará por miembros del equipo, el cual deberá estar formado por:

- El director de la planta (opcional)
- Jefes de taller
- Responsables de departamento
- Miembros del equipo Lean

En este paso los miembros del grupo aportan, durante un tiempo previamente establecido el mayor número de ideas y propuestas de mejoras que tengan.

#### **PASO 2: Priorización de las ideas expuestas en el paso anterior.**

En este paso, todas las actividades identificadas en el paso 1, se clasificarán en prioridades alta, medias y bajas en relación al impacto de la aplicación. Los criterios de prioridad para la elección de las medidas a tomar pueden ser:

- Mejora de la calidad del proceso y del producto
- Mayor margen beneficio/coste de aplicación
- Aumento de la productividad y disminución del lead time.
- Personas

#### **PASO 3: Diseño detallado de las acciones definidas como prioritarias en el paso 2**

Cuando se ha definido cuáles serán las acciones a implementar con una prioridad alta, estas se deben desarrollar en mayor profundidad por el equipo de trabajo. Es decir, se expone un conjunto completo de tareas detalladas de las actividades prioritarias del paso anterior. Estos pasos deben incluir:



- Tareas a realizar para llevar a cabo la acción
- Responsable/s de la realización/es y verificación de las tareas
- Plazos de finalización
- Identificación de los puntos de bloqueo de cada tarea
- Identificación de los hitos clave del proyecto

**PASO 4: Incorporar las acciones definidas en un A3 report**

Este paso no solo involucra a los responsables de los pasos 1 y 2, también forman parte los miembros que componen dichos departamentos y que trabajarán en equipos destinados al desarrollo de tareas.

El objetivo de este paso es la de registrar todos los datos fundamentales en un A3 report para el desarrollo del TIP, esto es:

- Registro de la acción a desarrollar
- Líder y equipo de la acción
- Lista de tareas a desarrollar
- Responsable de realización de las tareas
- Fecha de inicio y fecha prevista de cierre de la acción
- Descripción de la mejora esperada/conseguida
- Indicadores del estado actual, esperado y conseguido.

A continuación se muestra un ejemplo de un A3 report:

A3 REPORT				
<b>OPORTUNIDAD DE MEJORA:</b>				
<b>1) PROBLEMA</b>		<b>Definir problema y situación de partida</b>		
<b>2) EQUIPO</b>		<b>Definir responsable y equipo de trabajo</b>		
<u>Responsable</u>		<u>Equipo de trabajo</u>		
<b>3) OBJETIVOS</b>		<b>Mejoras esperadas/conseguidas</b>		
<u>Mejoras:</u>				
<b>INDICADORES</b>				
<u>Actual</u>		<u>Esperado</u>		<u>Conseguido</u>
<b>4) TAREAS</b>		<b>Desarrollo del listado de tareas</b>		
<b>Nº</b>	<b>Tarea</b>	<b>Responsable</b>	<b>Fecha inicio</b>	<b>Fecha final</b>
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
<b>5) APROBACIÓN</b>		<b>Aceptación por parte de la dirección</b>		
<u>Firma Agente Lean</u>		<u>Firma Director</u>		<u>Firma Responsable</u>

**Figura 7:** Formato A3 Report utilizado para propuestas de mejora

### **PASO 5: Aceptación por parte de dirección del TIP**

La dirección es la encargada de dar la validez y la aprobación al desarrollo de las acciones de mejora propuestas en pasos anteriores. Este es un paso esencial para asegurar el compromiso en todos los niveles de trabajo.

### **PASO 6: Designación de los procesos**

Una vez aprobado el TIP, se deben distribuir las diferentes tareas a los departamentos más indicados para su desarrollo. Cada uno de ellos, serán los encargados de llevar a cabo la planificación acordada.

### **PASO 7: Seguimiento del TIP**

Las acciones definidas en los apartados anteriores requieren de un seguimiento semanal del avance. Para ello se realizarán reuniones periódicas con el grupo de trabajo, en los que cada uno de ellos expondrá los desarrollos obtenidos en sus respectivas áreas, así como los problemas que han podido encontrarse.

Tomando como referencias los A3 report del paso 3, se informará y se dejará constancia del progreso de las acciones en dichos formatos, en ellos se definen los hitos a corto plazo para el alcance de las acciones.

Este formato, al igual que el TIP, serán puesto en el panel de la sala de reuniones, de manera que cualquier miembro de la empresa pueda consultar en qué estado se encuentra el proyecto.

## Capítulo 4. Proceso productivo

### 4.1 Introducción

En este capítulo se introduce las características generales del producto y de la línea de producción analizada por el presente trabajo.

En el apartado 4.2 se hace una descripción conceptual sobre el producto. Indicando cual es la aeronave que monta dichas piezas y dónde se localizan. Posteriormente se realiza una breve explicación funcional del producto y una descripción de las diferentes partes que lo componen. Finalmente se detalla cómo se designa al producto y las diferentes piezas que se montan por avión.

En el apartado 4.3 se expone un diagrama de flujo del proceso, donde posteriormente son explicadas de forma general cada una de las operaciones que lo componen.

### 4.2 Producto

El producto cuya línea de producción es objeto de análisis en el presente proyecto, es un componente aeroestructural de las alas principales de la aeronave militar A400M de Airbus (Ver figura 8)

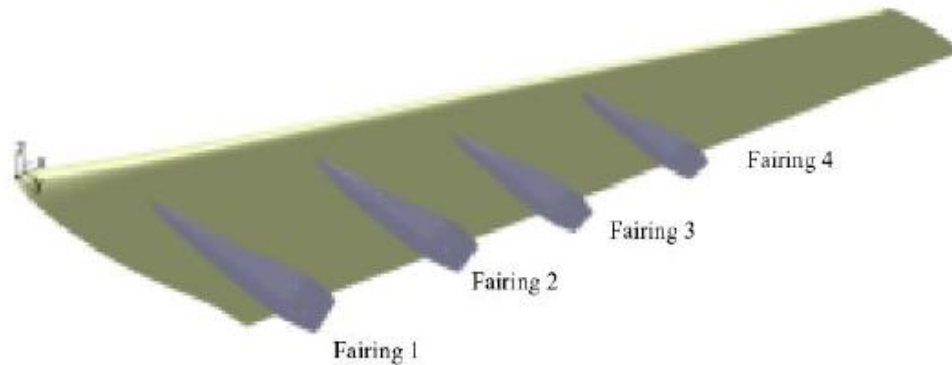


**Figura 8:** Aeronave militar A400M

Fabricado por Airbus Military, EL A400M es una aeronave militar de transporte turbohélice de larga distancia.

Las alas principales de este avión están dotado de dos flaps, uno interior y otro exterior por cada una de las dos alas. Estos flaps situados en la parte interior trasera, se deflexan hacia abajo gracias a dos tipos de mecanismos. Cada uno de estos mecanismos se ve cubierto por una estructura con funciones aerodinámicas y protectoras. Es la aeroestructura que forma parte del desarrollo de este proyecto, las Flaps Support Fairing, también nombradas como "carenas" (en adelante FSF).

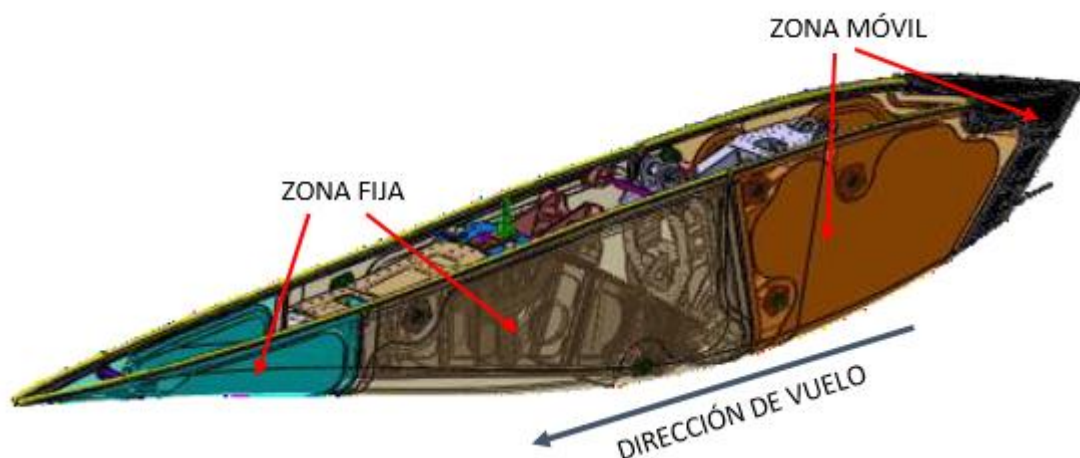
Cada FSF se identifica con un número sucesivo según la posición con respecto al fuselaje central como: Fairing1, Fairing2, Fairing3, Fairing4 (ver figura 9).



**Figura 9:** Localización de las fairing en el ala principal de la aeronave A400M

Las Fairing 1 y 2 se sitúan en el Flap interior, y las 3 y 4 en el Flaps exterior (más cerca de los extremos de las alas).

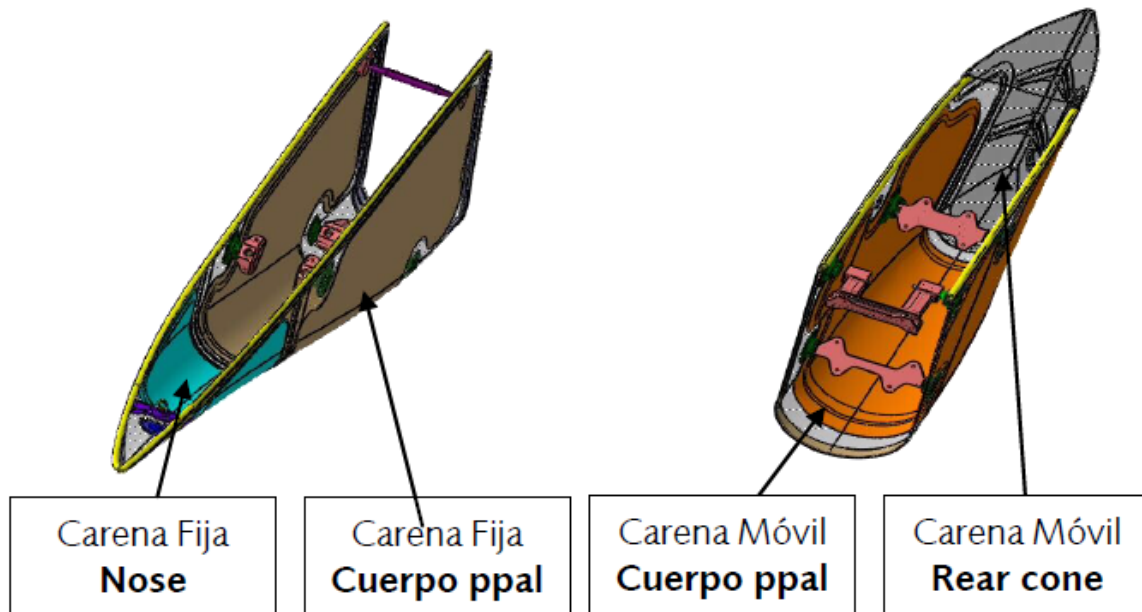
Como se puede ver en la figura 10, cada FSF se compone de dos cuerpos: Una parte móvil que se une a la parte cinemática del mecanismo que deflecta los flaps y a los propios flaps y una parte fija que se une revestimiento inferior del ala principal y a la parte fija del mecanismo.



**Figura 10:** Estructura de una Flap Support Fairing del A400M

La FSF fija se compone a su vez de un cuerpo principal, FSF fija y una pieza delantera llamada Nose.

De igual modo, la FSF móvil se compone a su vez de un cuerpo principal, FSF móvil y una pieza trasera o de cierre llamada Rear Cone (Ver figura 11).



**Figura 11:** Conjunto de FSF fija y FSF móvil

En el presente proyecto las Noses y los Rear Cone no formarán parte del estudio.

### Configuración por AV

Por cada avión se montan un total de 16 FSF:

- Cuerpo principal carenas fijas: 8 unidades por avión
- Cuerpo principal carenas móviles: 8 unidades por avión.

De las cuales 8 FSF (4 fijas Y 4 móviles) se montarán en el ala principal izquierda y otras 8 FSF (4 fijas Y 4 móviles) en el ala principal derecho.

Para denominar a cada una de las 16 FSF se utiliza un Part Numbert (PN) y una orden de producción (OP). También es utilizada una designación auxiliar con respecto la posición del elemento en el avión.

Por motivos de confidencialidad se utilizará la designación auxiliar y OP's modificadas durante el desarrollo del presente proyecto.

A continuación se muestra una tabla resumen de la configuración de los elementos por AV y su designación.

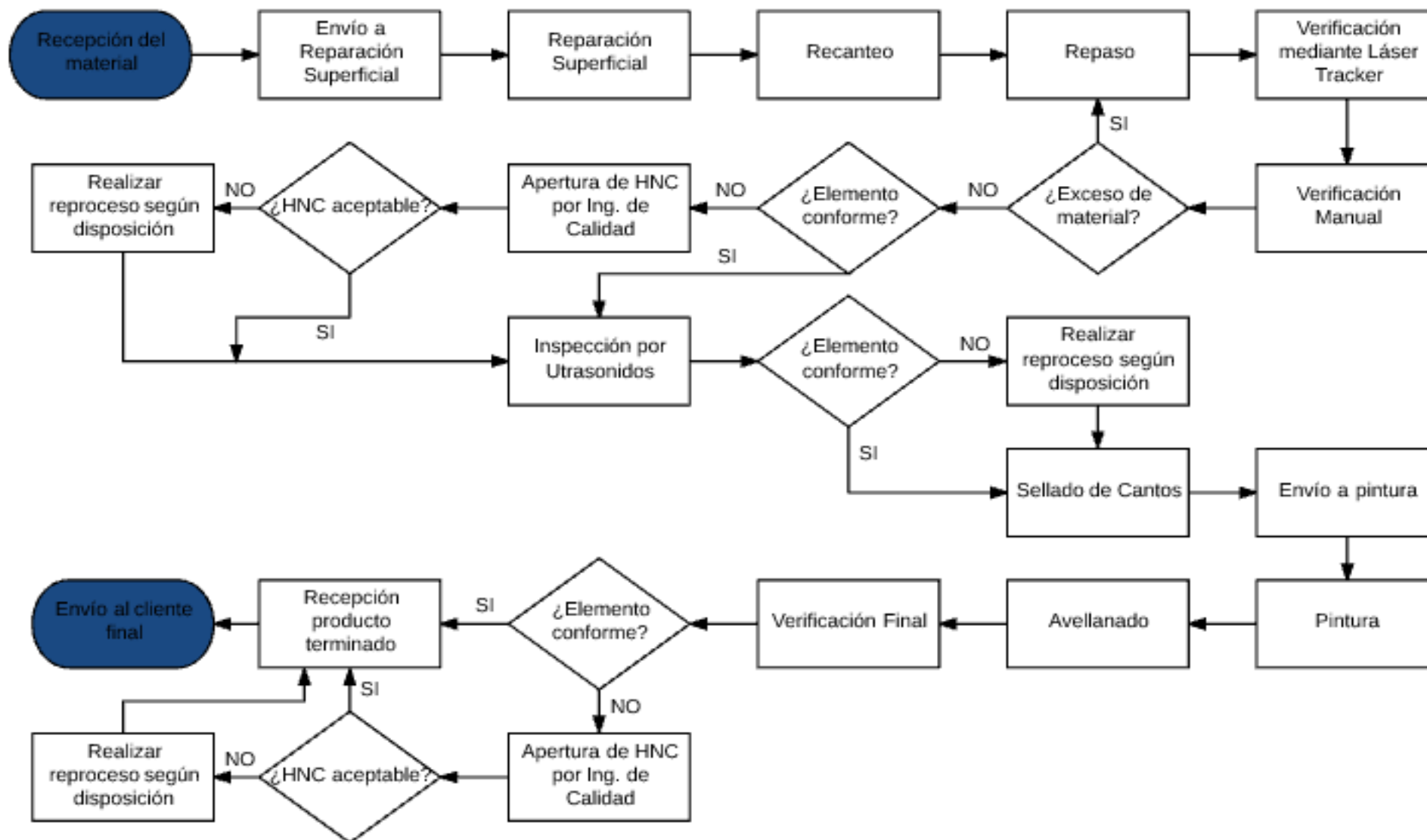
**Tabla 3:** Configuración de los elementos por AV

Áreas de la planta	
F1D	CARENA FIJA 1 DERECHA
F1I	CARENA FIJA 1 IZQUIERDA
F2D	CARENA FIJA 2 DERECHA
F2I	CARENA FIJA 2 IZQUIERDA
F3D	CARENA FIJA 3 DERECHA
F3I	CARENA FIJA 3 IZQUIERDA
F4D	CARENA FIJA 4 DERECHA
F4I	CARENA FIJA 4 IZQUIERDA
M1D	CARENA MÓVIL 1 DERECHA
M1I	CARENA MÓVIL 1 IZQUIERDA
M2D	CARENA MÓVIL 2 DERECHA
M2I	CARENA MÓVIL 2 IZQUIERDA
M3D	CARENA MÓVIL 3 DERECHA
M3I	CARENA MÓVIL 3 IZQUIERDA
M4D	CARENA MÓVIL 4 DERECHA
M4I	CARENA MÓVIL 4 IZQUIERDA

### 4.3 Diagrama de flujo

A continuación se muestra y se describe el diagrama de flujo lineal del proceso productivo de operaciones posteriores al autoclave en las Flaps Support Fairing.

Para la realización del diagrama de flujo se ha la tabla de símbolos mostrados en el anexo 4







El proceso productivo de las FSF en la línea de producción objeto de estudio en el presente proyecto comienza con la **recepción del material**. El material es enviado directamente desde la factoría del cliente. Inmediatamente las piezas son recepcionadas, se comprueba que el lote recibido está conforme y se envían al subcontratista que realizará la operación de **Reparación Superficial**. Las piezas son reenviadas por el subcontratista a la factoría para continuar con el resto de la producción.

Una vez recibidas, los elementos son trasladados a la zona de máquinas, donde se les realizará el **recanteo y taladrado** en máquinas de 5 ejes controladas por control numérico. Posteriormente son trasladados al área de **repaso**, es aquí donde se repasa manualmente el contorno de la pieza donde suelen quedar algunas fibras libres tras el mecanizado. También se realiza el corte manual de las orejetas utilizadas para amarrar la pieza al útil de recanteo. Estas orejetas son posteriormente innecesarias por lo que son eliminadas.

Luego, las piezas son enviadas al departamento de verificación. El primero proceso que se les realiza es la **inspección dimensional mediante láser tracker**. Para ello, la pieza debe colocarse en un útil de verificación. Este útil a su vez se coloca sobre una mesa de verificación. Se realiza una medición dimensional de puntos del contorno y puntos superficiales de la pieza, según la instrucción de verificación proporcionada por el cliente. Posteriormente se realiza la operación de **verificación manual**, donde se realiza la medición del diámetro de los taladros, el diámetro de los herrajes laterales y la distancia que existe entre el comienzo del núcleo interno de la pieza al contorno de esta (zona monolítica). En este proceso las herramientas a utilizar son: el calibre pie de rey, regla graduada, y plantillas.

Durante la verificación manual se revisa el informe dimensional láser generado en el proceso anterior. Si el informe recoge que existen puntos en el contorno de la pieza que se encuentran fuera de tolerancia debido a que existe un exceso de material, el elemento será enviado directamente al departamento de recanteo manual para que procedan al repaso de esa zona. Por otro lado, si la pieza presenta algún otro tipo de disconformidad como puede ser: falta de material, delaminaciones, taladros fuera de tolerancia, etc. Se procede a la apertura de una HNC (Hoja de no conformidad). La pieza pasaría a estar segregada en el ASM (Área de segregación de materiales) donde queda bloqueada hasta conocer la disposición de dicha HNC. En el caso de que la pieza fuera conforme, pasaría directamente al siguiente proceso, ultrasonidos.

En el departamento de ultrasonidos, se realiza la **inspección ultrasónica** por pulso eco manual. Se realiza un barrido manual con el palpador siguiendo el perímetro recanteado, con una inclusión de 3 mm en pieza desde el borde. Con esta inspección se pretende detectar posibles delaminaciones producidas durante el recanteo de la pieza. En el caso de que se detecte alguna delaminación o algún otro tipo de disconformidad, se procede a su denuncia y apertura de HNC. La pieza quedaría segregada en el ASM a la espera de recibir disposición. Si por el contrario la pieza resulta ser conforme es enviada al departamento de sellado de cantos.

El **sellado de cantos** es el último proceso que se realiza en las instalaciones. El proceso consiste en aplicar una resina adhesiva en el contorno de la pieza que se ha recanteado, con la finalidad

de proteger de posibles golpes y/o delaminaciones esa zona. Es un proceso que se realiza manualmente, aplicando dicha resina con una jeringuilla especial sobre los cantos de la pieza.

Cuando el proceso concluye, se debe esperar a que el sellante aplicado esté curado para verificar posteriormente el acabado y la uniformidad del mismo. Si resulta ser conforme la pieza es trasladada a la zona de expedición a pintura que se encuentra en almacén.

La pieza es enviada a una empresa subcontratada, encargada de realizar las operaciones de **pintura, avellanado y verificación final**.

En la verificación final se realiza una comprobación de la pintura y se miden los taladros avellanados. Finalmente se revisa que toda la documentación esté correcta y se da por finalizada la pieza.

Por último, es enviada de nuevo a la factoría donde será recogida y entregada al cliente final.

## Capítulo 5. VSM actual. Identificación y análisis de los despilfarros.

### 5.1 Introducción

En el capítulo que se desarrolla a continuación, se analizará mediante la herramienta Lean "VSM" el sistema productivo actual.

Para ello se realizará una recopilación de todos los datos e información necesaria para su representación en el apartado 5.2, para luego mostrar en el apartado 5.3 el VSM actual.

Tras un análisis exhaustivo del VSM y el sistema productivo actual, se desarrollarán en los apartados 5.4 y 5.5 todas las incidencias y desperdicios encontrados, tanto en el sistema productivo como en cada una de las operaciones respectivamente.

Por último, se realizará una representación del VSM actual con dichas incidencias localizadas.

### 5.2 Recopilación de la información

A continuación se expone toda la información que se obtuvo durante la realización de esta fase, así como las herramientas utilizadas para ello. De esta forma se obtienen los datos que permitirán desarrollar el VSM actual y tras su análisis indicarán los puntos de la línea productiva con mayores desperdicios.

#### 5.2.1 Datos de necesidades de entrega (Cliente)

Se detallan a continuación las necesidades teóricas y reales de compromiso de entrega del programa. Estos datos serán incluidos en un cuadro resumen situado en uno de los laterales del VSM, ya que indican los objetivos de entrega a cumplir y que han sido previamente consensuados con el cliente

##### **Datos Teóricos**

- Lead Time (días naturales) = 30 días/AV. (días naturales)
- Obra en curso por AV (OEC) = 2 Aviones.
- Obra en curso (unidades) = 30 unidades.
- Tack Time (días naturales) = 15 días/Avión.

##### **Datos reales**

- Lead Time (días naturales) = 48 días.
- Obra en curso por AV = 5.37 Aviones.
- Obra en curso (unidades) = 86 unidades.
- Tack Time (días naturales) = 12 FSF/semana  $\rightarrow 7 \text{ días}/12 \text{ FSF} = 0.583 \text{ días/FSF} = 9.328 \text{ días/AV.}$

### 5.2.2 Datos de subcontratistas

Como se ha descrito en el apartado anterior 4.3, el programa cuenta con una única empresa subcontratada, la cual realiza en sus instalaciones las operaciones de: Reparación superficial, pintura, avellanado y verificación final.

Por motivos de confidencialidad se renombrará con un apodo ficticio Pintura1.

**Pintura1:** Subcontrata es una empresa relevante para el programa. Su participación es indispensable para el desarrollo del proyecto ya que de momento no se ha obtenido una mejor respuesta por parte de otras empresas en la realización de los procesos a subcontratar. Se sitúa a 35 Km de distancia y los datos más relevantes de este subcontratista son:

#### Datos teóricos

- Lead Time (Reparación superficial) = 3 días laborables
- Lead Time (Pintura + Avellanado + Verificación Final) = 5 días laborales
- Políticas de lotes = Unitario

#### Datos reales

- Lead Time (Reparación superficial) = 3 días laborales
- Lead Time (Pintura + Avellanado + Verificación Final) = 5 días laborales
- Políticas de lotes = Unitario

### 5.2.3 Datos de proveedor

El proveedor es en este caso el propio cliente. El material suministrado es la pieza fabricada en bruto pendiente de realizarle las operaciones posteriores de autoclave. Los datos de suministro corresponden con las necesidades de entrega que se indicarán bajo el símbolo del proveedor. Los datos son los siguientes:

#### Datos teóricos

- Tack Time de suministro = 15 días/Avión
- Número de elementos suministrados = 8 unidades/semana

### 5.2.4 Datos logísticos

Seguidamente se enumera los diferentes transportes y la frecuencia con la que se realiza cada uno de ellos. Los transportes se realizan entre las 3 factorías: Cliente1, Machining Carbon Fiber (MCF) y Pintura1.

Los transportes entre las factorías cliente1→MCF y MCF→cliente1 son transportes responsabilidad de cliente1, por lo que no se tomarán estos transportes como parte de la línea productiva objeto de análisis. Estos si serán incluidos en la representación del VSM.

Los transportes MCF→Pintura1 y Pintura1→MCF forman parte de un transporte de ruta que realiza diariamente los dos trayectos. Por lo que es independiente del número de piezas que cargue (max. 8) o de otros factores. Esta ruta de transporte se realiza todos los días.

Lo datos indicados a continuación serán representados debajo de cada símbolo de transporte logístico correspondiente en el VSM.

#### Transportes:

- Cliente1 → MCF
  - 1 transporte/semana
  - Cantidad de unidades por transporte = 16 unidades = 1 AV/semana
- MCF → Pintura1 (envío a reparación superficial)
  - 1 transporte/día
  - Cantidad de unidades por transporte = 8 unidades max.
- Pintura1 → MCF (envío a Recateo)
  - 1 transporte/día
  - Cantidad de unidades por transporte = 8 unidades max.
- MCF → Pintura1 (envío a pintura)
  - 1 transporte/día
  - Cantidad de unidades por transporte = 8 unidades max.
- Pintura1 → MCF (envío a producto terminado)
  - 1 transporte/día
  - Cantidad de unidades por transporte = 8 unidades max.
- MCF → Cliente1 (envío a producto terminado)
  - 1 transporte/semana
  - Cantidad de unidades por transporte = 16 unidades = 1 AV/semana

#### 5.2.5 Datos de los procesos

En este apartado se recoge la información importante de cada uno de los procesos para decidir cuál será el estado futuro de la cadena de valor. Estos datos se representarán debajo de las "cajas de procesos" y los datos a indicar en cada uno de ellos serán los siguientes:

- **Tiempo de cambio entre productos (TCP).**
- **Tiempo de funcionamiento de las máquinas (%) (TF).**
- El **número de personas** que se necesita para realizar el proceso.
- **Número de turnos** por día y por operación.
- El **tiempo de trabajo disponible** por turno en el proceso.

Para el análisis y la recogida de los tiempos totales de ciclo en cada uno de los procesos y el tiempo de cambio entre productos se ha utilizado un modelo de "Standar Work Combination Sheet" que puede ser consultada en el anexo 2. Cada una de ellas ha sido completada siguiendo "insitu" cada una de las operaciones en taller y recogiendo los tiempos manualmente mediante un cronómetro.

Los datos de tiempo de funcionamiento de las máquinas, número de turnos por día y tiempo de trabajo disponible han sido proporcionados por el departamento de producción de la empresa.

A continuación se muestran la información obtenida:

### Tiempo de trabajo

- 20 días laborables al mes.
- Operación en dos turnos en todos los departamentos de producción.
- 8 horas por turno, con posibilidad de realización de horas extra, si es necesario.
- Un descanso de 15 minutos por turno.

Por lo tanto, en cada uno de los procesos:

- Número de turnos por día: 2 turnos.
- Tiempo de trabajo disponible turno: 7,45 h = 447 min.

### Información acerca de los procesos

#### 1. Recepción de elementos + envío a reparación superficial

- Proceso manual con 1 ó 2 operarios (dependiendo del tamaño de FSF a recepcionar y enviar).
- Tiempo total del ciclo: 75,52 min.
- Fiabilidad: 95%. En algunas ocasiones no es enviado el material por error humano.

#### 2. Recepción reparación superficial

- Proceso manual con 1 ó 2 operarios. (dependiendo del tamaño de FSF a recepcionar).
- Tiempo total del ciclo: 25,96 min.
- Fiabilidad: 100%

#### 3. Reparación Superficial

- Proceso manual con 1 operario.
- Tiempo de ciclo: 708 min.
- El tiempo de cambio entre productos no aplica en este proceso subcontratado.
- Fiabilidad: 100%
- (Ver apartado 5.2.2)

**4. Envío a recanteo**

- Proceso manual con 1 ó 2 operarios. (dependiendo del tamaño de FSF a enviar).
- Tiempo total del ciclo: 27,14 min.
- Fiabilidad: 100%

**5. Recepción de preparación superficial**

- Proceso manual con 1 ó 2 operarios. (dependiendo del tamaño de FSF a recepcionar).
- Tiempo total del ciclo: 37,76 min.
- Fiabilidad: 100%

**6. Recanteo**

- Proceso automático-manual con 2 operarios. (1 operario experto y 1 operario en prácticas).
- Tiempo total del ciclo: 241,9 min.
- Tiempo de cambio entre productos: 59 min.
- Fiabilidad: 90%

**7. Repaso**

- Proceso manual con 1 operario.
- Tiempo total del ciclo: 62,54 min.
- Tiempo de cambio entre productos: 15,34 min.
- Fiabilidad: 98%

**8. Verificación láser**

- Proceso manual con 1 operario.
- Tiempo total del ciclo: 259,6 min.
- Tiempo de cambio entre productos: 70,8 min.
- Fiabilidad: 100%

**9. Verificación manual**

- Proceso manual con 1 operario.
- Tiempo total del ciclo: 83,73 min.
- Tiempo de cambio entre productos: 5,9 min.
- Fiabilidad: 100%

**10. Inspección Ultrasonidos**

- Proceso manual con 1 operario.
- Tiempo total del ciclo: 205,32 min.
- Tiempo de cambio entre productos: 5,29 min.
- Fiabilidad: 100%

**11. Sellado**

- Proceso manual con 1 operario.



- Tiempo total del ciclo: 521,56 min.
- Tiempo de cambio entre productos: 17,7 min.
- Fiabilidad: 98%

## 12. Envío a pintura

- Proceso manual con 1 ó 2 operarios (dependiendo del tamaño de FSF a enviar).
- Tiempo total del ciclo: 48,38 min.
- Fiabilidad: 95%. En algunas ocasiones no es enviado el material por error humano.

## 13. Recepción pintura

- Proceso manual con 1 ó 2 operarios. (dependiendo del tamaño de FSF a recepcionar).
- Tiempo total del ciclo: 25,96 min.
- Fiabilidad: 100%.

## 14. Pintura

- Proceso manual con 1 operario.
- Tiempo de ciclo: 338,66 min.
- El tiempo de cambio entre productos no aplica en este proceso subcontratado.
- Fiabilidad: 98 %
- (Ver apartado 5.2.2)

## 15. Avellanado

- Proceso manual con 1 operario.
- Tiempo de ciclo: 114,46 min.
- El tiempo de cambio entre productos no aplica en este proceso subcontratado.
- Fiabilidad: 100%
- (Ver apartado 5.2.2)

## 16. Verificación final

- Proceso manual con 1 operario.
- Tiempo de ciclo: 59 min.
- Fiabilidad: 100%
- (Ver apartado 5.2.2)

## 17. Envío a producto terminado

- Proceso manual con 1 ó 2 operarios. (dependiendo del tamaño de FSF a enviar).
- Tiempo total del ciclo: 27,14 min.
- Fiabilidad: 100%.

## 18. Recepción de producto terminado

- Proceso manual con 1 ó 2 operarios. (dependiendo del tamaño de FSF a recepcionar).

- Tiempo total del ciclo: 21,24 min.
- Fiabilidad: 100%

### 5.2.6 Datos de stocks de inventarios

En este apartado se indican los datos en los inventarios intermedios entre procesos. La situación que se debe representar es una foto "estática" de un momento concreto. Al no disponer de una OEC equilibrada y al sufrir grandes variaciones en los niveles intermedios entre procesos, se decide durante un determinado periodo de tiempo recoger los niveles de stock y realizar una media representativa.

Indicar que existen procesos en los cuales no existe un inventario intermedio, ya que el tiempo de espera de estos elementos se puede despreciar en el LT total. Estos procesos sin stocks intermedios son:

**Tabla 4:** Resumen de procesos en los cuales no existen inventarios intermedios

OPERACIONES	INVENTARIO
	MEDIA
RECEPCIÓN DE ELEMENTOS + ENVÍO A REP SUPERFICIAL	N/A
RECEPCIÓN REPARACIÓN SUPERFICIAL	N/A
ENVÍO A RECANTEO	N/A
RECEPCIÓN DE REPARACIÓN SUPERFICIAL	N/A
ASM	N/A
ENVÍO A PINTURA	N/A
RECEPCIÓN PINTURA	N/A
ENVÍO A PRODUCTO TERMINADO	N/A
RECEPCIÓN DE PRODUCTO TERMINADO	N/A

Se llamará media a la media aritmética y será calculada utilizando la siguiente fórmula:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} .$$

**Ecuación 3:** Ecuación para el cálculo de la media aritmética

Siendo  $x_1, x_2, \dots, x_n$  el número de FSF contadas en los stock intermedios y  $n$  el número de días que se ha procedido a contar los elementos.

Una vez realizada la media, se debe demostrar que la media obtenida es representativa. Para ello se calculará la desviación típica de los datos procedentes de la muestra, y se denotará por  $S_n$ .

La fórmula de la desviación típica es la siguiente:

$$s_x = \sqrt{\text{Varianza}}.$$

**Ecuación 4:** Ecuación para el cálculo de la desviación típica

Siendo la varianza:

$$s_x^2 = \frac{\sum_{i=1}^n x_i^2}{n} - \bar{x}^2 ;$$

**Ecuación 5:** Ecuación para el cálculo de la varianza

Cuanto más pequeño sea el resultado de la desviación típica, menos dispersión respecto a la media se tendrá, es decir, los datos están menos alejados de la media, y por tanto la media es más representativa.

Para confirmar que la media obtenida es representativa, se debe de cumplir la siguiente premisa:

$$Sx \leq R/3$$

**Ecuación 6:** Ecuación para comprobación de una media representativa

Siendo R el recorrido:

$$R = x_{max} - x_{min}.$$

**Ecuación 7:** Ecuación para el cálculo del recorrido

Mide el grado de variabilidad de los datos de la muestra: cuanto más grande sea el resultado del recorrido, más disperso son los datos de la muestra. [12]

A continuación se muestra la tabla resumen de los valores de inventarios intermedios calculados y que serán representados en el VSM actual. Para consultar los valores obtenidos durante la toma de datos y los cálculos realizados consultar anexo 3.

**Tabla 5:** Resumen de cantidad de inventarios intermedios por proceso

OPERACIONES	INVENTARIO
	MEDIA
RECEPCIÓN DE ELEMENTOS + ENVÍO A REP SUPERFICIAL	N/A
RECEPCIÓN REPARACIÓN SUPERFICIAL	N/A
REPARACIÓN SUPERFICIAL	8
ENVÍO A RECANTEO	N/A
RECEPCIÓN DE REPARACIÓN SUPERFICIAL	N/A
RECANTEO	10
REPASO	3
VERIFICACIÓN LÁSER	8
VERIFICACIÓN MANUAL	8
ASM	N/A
UT	16
SELLADO	9
ENVÍO A PINTURA	N/A
RECEPCIÓN PINTURA	N/A
PINTURA	8
AVELLANADO	3
VERIFICACIÓN FINAL	2
ENVÍO A PRODUCTO TERMINADO	N/A
RECEPCIÓN DE PRODUCTO TERMINADO	N/A

Una vez calculado los stocks de inventarios intermedios, se procede a calcular los plazos de entrega (en días) que representa cada triángulo. Se calcula como sigue:

$$LT_{\text{inventarios intermedios}} = \frac{\text{Cantidad de inventario}}{\text{Requerimiento diario del cliente}}$$

**Ecuación 8:** Ecuación para el cálculo del lead time de los inventarios intermedios

Para el dato de requerimiento del cliente se ha tomado el Tack Time real que se indica en el apartado anterior 5.2.1. Ya que es el ritmo real de producción.

**Tabla 6:** Resumen del lead time de los inventarios intermedios por proceso

OPERACIONES	INVENTARIO	
	MEDIA	LT
RECEPCIÓN DE ELEMENTOS + ENVÍO A REP SUPERFICIAL	N/A	N/A
RECEPCIÓN REPARACIÓN SUPERFICIAL	N/A	N/A
REPARACIÓN SUPERFICIAL	8	4,58
ENVÍO A RECANTEO	N/A	N/A
RECEPCIÓN DE REPARACIÓN SUPERFICIAL	N/A	N/A
RECANTEO	10	5,83
REPASO	3	1,75
VERIFICACIÓN LÁSER	8	4,67
VERIFICACIÓN MANUAL	8	4,67
ASM	N/A	N/A
UT	16	9,33
SELLADO	9	5,25
ENVÍO A PINTURA	N/A	N/A
RECEPCIÓN PINTURA	N/A	N/A
PINTURA	8	4,67
AVELLANADO	3	1,75
VERIFICACIÓN FINAL	2	1,17
ENVÍO A PRODUCTO TERMINADO	N/A	N/A
RECEPCIÓN DE PRODUCTO TERMINADO	N/A	N/A

Estos datos serán representados posteriormente en la línea de tiempo, tal y como se indica en el siguiente apartado 5.2.7.

#### 5.2.7 Datos de la línea de tiempo

Con los tiempos de las operaciones recogidas en el apartado anterior 5.2.6 y los Lead Time de las cantidades de inventarios calculados en el apartado 5.2.6 se podrá elaborar la línea de tiempo que permitirá conocer el plazo de entrega de la línea de producción.

El nivel superior de la línea temporal corresponde a los tiempos de valor no añadido al producto, por lo que en este nivel se situarán los tiempos de inventarios, además de los tiempos de las operaciones necesarias y de no valor agregado de cada una de las operaciones.

Por otro lado, el nivel inferior recogerá los datos de valor agregado al producto, que se podrá obtener de la suma de los tiempos en las operaciones que sí agregan valor. En el **Anexo 4** pueden consultarse qué operaciones agregan valor o no en cada uno de los diferentes procesos de la producción.

A continuación se muestra una tabla resumen de los datos que serán representados en la línea de tiempo del VSM actual.

**Tabla 7:** Resumen de tiempos de VA y no-VA por proceso

OPERACIONES	Tiempos				
	Valor Agregado	Necesario	No valor Agregado	Tiempo VA total	Tiempo NVA total
RECEPCIÓN DE ELEMENTOS + ENVÍO A REP SUPERFICIAL	0	14,16	61,36	0	75,52
RECEPCIÓN REPARACIÓN SUPERFICIAL	0	0	25,96	0	25,96
REPARACIÓN SUPERFICIAL	708	0	0	708	0
ENVÍO A RECANTEO	0	0	27,14	0	27,14
RECEPCIÓN DE REPARACIÓN SUPERFICIAL	0	18,88	18,88	0	37,76
RECANTEO	76,7	53,1	112,1	76,7	165,2
REPASO	35,4	3,54	23,6	35,4	27,14
VERIFICACIÓN LÁSER	162,84	21,24	93,22	162,84	114,46
VERIFICACIÓN MANUAL	35,4	11,8	34,22	35,4	46,02
UT	141,6	17,7	46,02	141,6	63,72
SELLADO	374,06	35,4	112,1	374,06	147,5
ENVÍO A PINTURA	0	8,26	40,12	0	48,38
RECEPCIÓN PINTURA	0	0	25,96	0	25,96
PINTURA	236	0	102,66	236	102,66
AVELLANADO	90,86	17,7	17,7	90,86	35,4
VERIFICACIÓN FINAL	0	53,1	5,9	0	59
ENVÍO A PRODUCTO TERMINADO	0	0	27,14	0	27,14
RECEPCIÓN DE PRODUCTO TERMINADO	0	5,9	15,34	0	21,24

Finalmente se indica en una tabla resumen al final de la línea de tiempo el sumatorio de: los tiempos de los procesos que añaden valor, lo que no añaden valor y el tiempo de inventarios intermedios para el cálculo final del plazo de entrega real.

**Tabla 8:** Resumen final del lead time del sistema productivo

TIEMPO	min	días
Tiempo de procesos no valor agregado	1056,1	
Tiempo de procesos valor agregado	1860,33	
Tiempo de inventarios		45,97
Plazo de entrega real	47,99 días	

### 5.2.8 Flujo de información

El último punto que se representa en el Value Stream Mapping es el flujo de información.

Como se podrá observar el 100% de la información fluye por conductos electrónicos. Los medios más utilizados son: archivos de seguimientos que se encuentran localizados en servidores públicos, emails o el propio teléfono que dependiendo la información a transmitir también forma parte del sistema de comunicación.

### 5.2.9 Datos de Calidad (ASM)

En este apartado se explicará como la capacidad del departamento de calidad en la solución de problemas o no conformidades en elementos que se encuentran en producción pueden llegar a afectar al sistema productivo en general, así como los datos que será necesario recoger para su representación en el VSM actual.

Como se ha explicado anteriormente en el diagrama de flujo, apartado 4.3. Después del proceso de verificación manual se procede a la apertura de una HNC por parte del responsable de calidad en el caso de encontrar alguna no conformidad en el elemento.

El porcentaje de apertura de HNC's es del 98%, es por esta razón, la necesidad de tener en cuenta la capacidad del departamento de calidad para denunciar estas no conformidades al cliente. La causa raíz de este problema será analizada en apartados posteriores (5.4.2).

En el VSM actual se debe representar esta parte importante dentro del sistema productivo, ya que el Lead Time de los elementos depende significativamente de la rapidez con la que el responsable de calidad proceda a la apertura de la HNC y de la rapidez en originar la disposición por parte del cliente.

Para su representación en el VSM actual se procederá a representar el ASM como un "proceso" más en el sistema de producción, es decir, con un cuadro de procesos. En la línea de tiempos se indicará el Lead time medio que tarda un elemento desde que entra en el ASM, hasta que es posicionada por el cliente y se procede a su salida.

Para conocer el Lead time medio de este proceso se solita al departamento de calidad la recogida de estos datos durante un periodo de tiempo. Siendo el Lead time promedio que tarda una FSF en ser posicionada y liberada:

**Tabla 9:** Lead time necesario para liberar una FSF de ASM

Proceso ASM	
LT promedio	5 días naturales

### 5.3 Realización del VSM actual

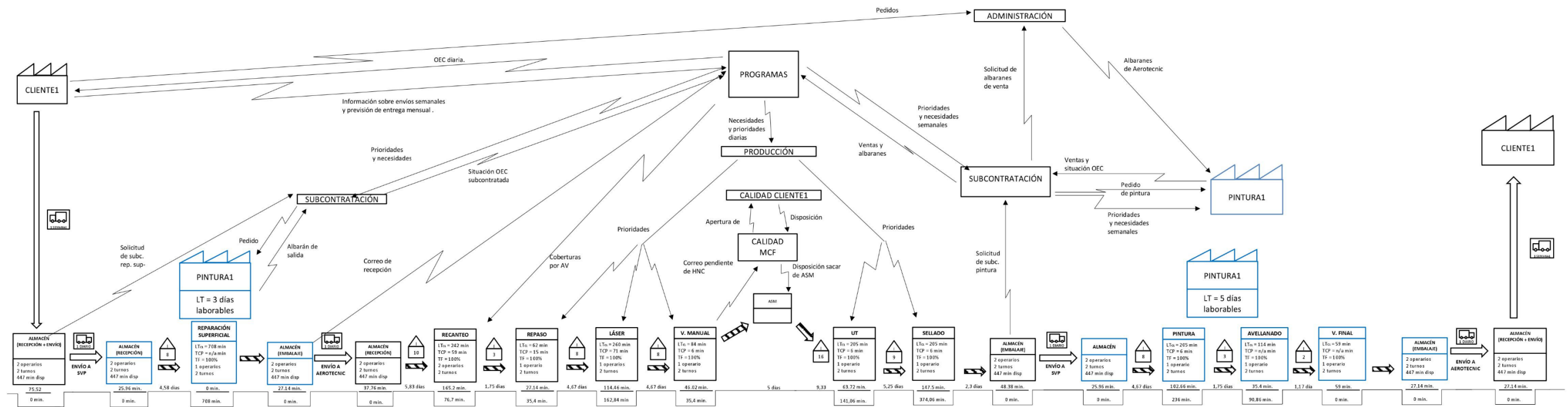
Después de conocer el proceso productivo y recoger todos los datos necesarios se procede a la representación del VSM actual, quedando a continuación como se refleja:



**VSM ACTUAL**

VSM A400M FSF				
MACHINING CARBON FIBER	TACK TIME REAL (días naturales)	12 FSF/sem.	TACK TIME TEO (días naturales)	15 días/AV
	LT REAL (días naturales)	48 días	LT REAL (días naturales)	30 días
	OEC REAL (AV)	5,37	OEC TEÓRICA (AV)	2 AV
	OEC REAL (Unid.)	86 Unids.	OEC TEÓRICA (Unid.)	30 Unids.

TIEMPO	min	días
Tiempo de procesos no valor agregado	1056,1	
Tiempo de procesos valor agregado	1860,33	
Tiempo de inventarios		45,97
Plazo de entrega real	47,99 días	





#### 5.4 Identificación de incidencias detectadas en el VSM actual

En el siguiente apartado se expone las incidencias más importantes que han sido encontradas en el sistema de producción durante el análisis del VSM actual.

Para la recopilación de la información de las incidencias se ha utilizado un formato generalizado donde se recogen los siguientes campos:

- Nombre de la incidencia detectada.
- Observaciones: Campo donde se desarrolla y explica la incidencia detectada.
- Fuente de información: Se indica como se ha llegado a conocer la incidencia.
- Explicación gráfica: Imagen o fotografía que representa visualmente el problema.
- Departamentos afectados.
- Fecha de origen del problema.
- Clasificación del impacto preliminar observado. Siendo la menor puntuación 9 y la mayor 45.
- Identificación de la causa raíz: Se explica y se localiza el origen del problema.
- Posibles acciones de mejora encontradas.

Se ha tomado en cuenta el valor obtenido en el campo de impacto preliminar observado para exponer las tres incidencias cuyo valor ha sido mayor y por lo tanto suponen mayores desperdicios para la producción.

## 5.4.1 Incidencia 1: Exceso de transportes logísticos

HOJA DE IDENTIFICACIÓN DE INCIDENCIAS EN EL SISTEMA PRODUCTIVO					
INCIDENCIA:		Exceso de transportes logísticos			
OBSERVACIONES:					
Se identifica un exceso de transportes logísticos dentro de la línea de producción. Siendo un total de 5, los movimientos que realiza cada elemento desde que es recibido por parte del cliente hasta su envío como producto terminado. Destacar 2 transportes identificados como principales desperdicios: el transporte Cliente1 → MCF, ya que la pieza es enviada inmediatamente a pintura1 al ser recepcionada por MCF y de igual forma se encuentra el transporte MCF → Cliente1.					
FUENTE DE INFORMACIÓN					
Análisis de los movimientos logísticos con el VSM actual.					
EXPLICACIÓN GRÁFICA					
<p>Gráfica 6: Flujo de transportes en el sistema productivo</p> <pre>graph LR; C1[CLIENTE1] --&gt; MCF1[MCF]; MCF1 --&gt; P1[PINTURA]; P2[PINTURA] --&gt; MCF2[MCF]; MCF2 --&gt; C2[CLIENTE1]</pre>					
DEPARTAMENTOS AFECTADOS					
<ul style="list-style-type: none"><li>- Departamento de logística</li><li>- Departamento de producción</li><li>- Departamento de programas</li></ul>					
FECHA DE ORIGEN DE LA INCIDENCIAS					
El problema ocurre desde la iniciación de la producción de estos elementos					
IMPACTO PRELIMINAR OBSERVADO					
	muy baja	baja	media	alta	muy alta
a) Según el nivel de peligrosidad para las personas		2			
b) Según los costes que supone				4	
c) Según cómo afecte a la producción				4	
d) Según cómo afecta a los plazos de entrega				4	

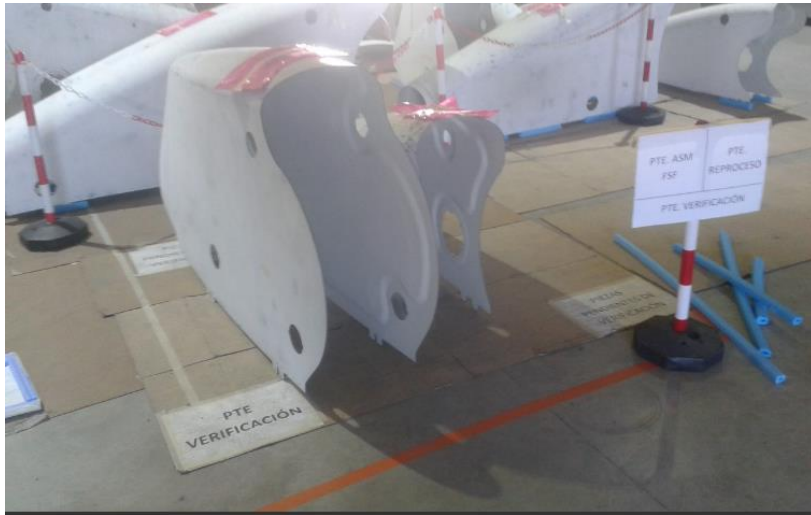
f) Según como afecte a la calidad del producto	1				
g) Según el tiempo que tenga la incidencia					5
h) Según el ahorro que suponga su solución				4	
i) Según el espacio inadecuado que ocupe (stocks)					5
j) Según los tiempos que consuma					5
<b>TOTAL = 34</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>0</b>	<b>16</b>	<b>15</b>
<b>IDENTIFICACIÓN DE LA CAUSA RAÍZ</b>					
<p>Las entregas y recogidas de los elementos por parte del cliente se deben realizar utilizando un utillaje de transporte metálico cuya campana metálica ha de levantarse con un puente grúa.</p> <p>El proveedor pintura1 no dispone de puente grúa. Por lo tanto los elementos son entregados primero a MCF, el cual si dispone de puente grúa, se descargan los elementos y posteriormente son enviados a pintura1 en unos útiles de madera individuales. La descarga de los elementos se realiza manualmente en estos útiles.</p>					
<b>POSIBLES ACCIONES DE MEJORA</b>					
<p>Se desarrolla la idea de lanzar un proyecto de modificación del útil de transporte ya existente. Dicha modificación debe permitir a los trabajadores de pintura1 descargar los elementos manualmente del útil, además de cumplir con los requisitos exigidos por el departamento de calidad (protección, manipulación, etc.)</p> <p>También se estudia la posibilidad de diseño y fabricación de un utillaje nuevo de transporte.</p>					

## 5.4.2 Incidencia 2: Incidencias de Calidad

HOJA DE IDENTIFICACIÓN DE INCIDENCIAS EN EL SISTEMA PRODUCTIVO	
INCIDENCIA:	Incidencias de calidad
OBSERVACIONES:	
<p>Se denuncia con un 98% de probabilidad dimensiones fuera de tolerancia en los presentes elementos. Estas no conformidades son identificadas y denunciadas por el departamento de verificación tras la inspección láser y verificación manual de las piezas.</p> <p>Este alto porcentaje obliga a tener en cuenta los recursos y la capacidad del departamento de calidad como si de un proceso productivo más se tratase.</p> <p>En el 100% de los casos, estas medidas fuera de tolerancia son dispositionadas como conformes con atención al montaje. Es decir, continúan procesos a expensas de cualquier problema detectado durante su montaje en el avión.</p> <p>En ninguno de los casos se ha denunciado la imposibilidad de montar alguno de estos elementos.</p>	
FUENTE DE INFORMACIÓN	
Archivo de control de apertura de HNC's del departamento de calidad	
EXPLICACIÓN GRÁFICA	
<p><b>Gráfica 7:</b> Flujo procesos/información para elementos con incidencias de calidad</p> <pre> graph TD     CC1[CALIDAD CLIENTE1] -- "Apertura de" --&gt; CM[CALIDAD MCF]     CC1 -- "Disposición" --&gt; ASM[ASM]     CM -- "Correo pendiente de HNC" --&gt; ASM     CM -- "Disposición sacar de ASM" --&gt; UT[UT]     ASM -- "Disposición" --&gt; VM[V. MANUAL]     VM -- "46,02 min." --&gt; T1[35,4 min.]     UT -- "9,33" --&gt; T2[63,72 min.]     T1 -- "5 días" --&gt; T2     T2 -- "141,06 min." --&gt; T3[141,06 min.]   </pre> <p><b>V. MANUAL</b></p> <p>LT<sub>u</sub> = 84 min TCP = 6 min TF = 100% 1 operario 2 turnos 447 min disp</p> <p><b>UT</b></p> <p>LT<sub>u</sub> = 205 min TCP = 6 min TF = 100% 1 operario 2 turnos 447 min disp</p> <p>46,02 min. 5 días 9,33 63,72 min. 141,06 min.</p>	

DEPARTAMENTOS AFECTADOS					
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Departamento de calidad</li> <li>- Departamento de producción</li> <li>- Departamento de programas</li> <li>- Departamento de verificación</li> </ul>					
FECHA DE ORIGEN DE LA INCIDENCIAS					
El problema ocurre desde la iniciación de la producción de estos elementos					
IMPACTO PRELIMINAR OBSERVADO					
	muy baja	baja	media	alta	muy alta
a) Según el nivel de peligrosidad para las personas	1				
b) Según los costes que supone			3		
c) Según cómo afecte a la producción					5
d) Según cómo afecta a los plazos de entrega					5
f) Según como afecte a la calidad del producto					5
g) Según el tiempo que tenga la incidencia					5
h) Según el ahorre que suponga su solución			3		
i) Según el espacio inadecuado que ocupe (stocks)			3		
j) Según los tiempos que consuma				4	
<b>TOTAL = 34</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>9</b>	<b>4</b>	<b>20</b>
IDENTIFICACIÓN DE LA CAUSA RAÍZ					
<p>No es posible determinar actualmente una causa raíz concreta debido a la poca repetitividad en las dimensiones finales de la pieza tras su fabricación. Esto puede ser debido a uno de los tres factores que se muestran a continuación o a varios de ellos en su conjunto.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Falta de repetitividad en las dimensiones finales de la pieza debido a la recuperación elástica tras el curado en autoclave (spring-back). Esto a su vez produce falta de repetitividad en el posicionamiento de la pieza en el útil de recorte.</li> <li>- Desviaciones entre el modelo teórico y el modelo real en los puntos de alineación de los útiles de verificación.</li> <li>- Procedimiento de medición mediante láser tracker del elemento.</li> </ul>					
POSIBLES ACCIONES DE MEJORA					
<p>Se desarrolla la idea de lanzar un proyecto estudio, análisis y mejora del problema con un equipo especializado.</p> <p>Se llevarán a cabo las tareas y estudios necesarios para localizar la verdadera causa raíz del problema, dentro de los citados en el campo anterior "identificación de la causa raíz". Se propondrán acciones de mejora con el objetivo de evitar en un futuro dimensiones fuera de tolerancia tras la verificación dimensional mediante láser tracker de los elementos.</p>					

## 5.4.3 Incidencia 3: Sobreproducción, exceso de obra en curso y sistema push.

HOJA DE IDENTIFICACIÓN DE INCIDENCIAS EN EL SISTEMA PRODUCTIVO	
INCIDENCIA:	Sobreproducción, exceso de obra en curso y sistema push
OBSERVACIONES:	
<p>En el VSM del estado actual se revela problemas fundamentales de la producción en serie. Cada proceso funciona como una isla aislada que produce en lotes unitarios y los empuja hacia delante conforme a las prioridades recibidas por parte del departamento de producción (sistema push), sin tener en cuenta las verdaderas necesidades del cliente.</p> <p>Esto da lugar a una sobreproducción. Producir elementos que realmente no se necesitan y por lo tanto hay que almacenarlos, manipularlos, contarlos, etc. Dando lugar a un exceso de desperdicios.</p> <p>El exceso de obra en curso, también relacionado con lo descrito anteriormente genera una gran cantidad de inventarios. Aunque el tiempo correspondiente al valor agregado de fabricar el producto sea breve, los stocks intermedios alargan el lead time que tarda el producto en recorrer los diferentes procesos. Así pues, los defectos no se atajan desde el principio ya que se prioriza o se adelanta elementos de estos inventarios. Los defectos parecen no afectar a la obra en curso.</p>	
FUENTE DE INFORMACIÓN	
Análisis del sistema productivo mediante el VSM actual.	
EXPLICACIÓN GRÁFICA	
	
<p><b>Figura 12:</b> Inventario intermedio en el proceso de verificación y ASM</p>	



DEPARTAMENTOS AFECTADOS					
- Departamento de producción - Departamento de programas					
FECHA DE ORIGEN DE LA INCIDENCIAS					
El problema ocurre pasados 4 meses el inicio del programa.					
IMPACTO PRELIMINAR OBSERVADO					
	muy baja	baja	media	alta	muy alta
a) Según el nivel de peligrosidad para las personas	1				
b) Según los costes que supone				4	
c) Según cómo afecte a la producción					5
d) Según cómo afecta a los plazos de entrega					5
f) Según como afecte a la calidad del producto			3		
g) Según el tiempo que tenga la incidencia			3		
h) Según el ahorre que suponga su solución			3		
i) Según el espacio inadecuado que ocupe (stocks)					5
j) Según los tiempos que consuma				4	
<b>TOTAL = 33</b>	1	0	9	8	15
IDENTIFICACIÓN DE LA CAUSA RAÍZ					
Utilización de un sistema de producción de empuje (push).  Se elaboran programas de producción para priorizar los elementos que se encuentran en cada uno de los departamentos. Por cada proceso, los operarios producen el máximo número de piezas a la mayor velocidad posible, aunque las operaciones siguientes no las necesiten.					
POSIBLES ACCIONES DE MEJORA					
Se propone cambiar el sistema de producción. Un sistema pull (tirar de la producción) que permita pasar de vender lo que se produce, a producir lo que el cliente necesita. Con la implementación de este sistema, es el proceso siguiente el que recogerá del proceso anterior las piezas que necesita en la cantidad y en el momento preciso.  Para que un proceso produzca lo que el proceso siguiente necesita se plantea la utilización de tarjetas Kanban como sistema de información y control de la producción.					

## 5.5 Descripción de las incidencias detectadas por proceso

En el siguiente apartado, se analizan las diferentes operaciones que son realizadas en cada uno de los procesos de la línea de producción. El objetivo es el de detectar cuáles de ellas pueden ser eliminadas o modificadas y así mejorar la eficiencia y productividad en el sistema.

Para llevar a cabo el siguiente análisis, se procede a la recogida de las diferentes operaciones que debe realizar el operario en taller. Estas actividades son clasificadas en:


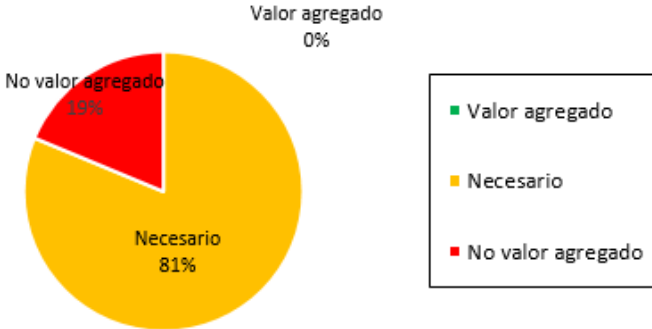
- Valor agregado: cuando la actividad transforma y cambia el producto o resulta de ser una actividad que el cliente está dispuesto a pagar por la realización de esa actividad.
- Necesarias: son actividades necesarias, que no pueden ser eliminadas y además no añaden valor al producto.
- No valor agregado: actividades que el cliente no está dispuesto a pagar por su realización y no transforman el producto.

A la vez que son recogidas las diferentes operaciones en taller, se toman los tiempos que tarda el operario en realizarlas. De esta forma, se podrá obtener un valor cuantitativo de las actividades que añaden y no añaden valor al producto.

Posteriormente, se utilizará el formato “Hoja de identificación de incidencias por procesos” para poder determinar y clasificar aquellas operaciones que supongan un mayor impacto para el sistema de producción. Es decir, aquellos procesos donde el tiempo dedicado a operaciones de no-valor agregado y/ necesarias sea mayor y por lo tanto supongan grandes desperdicios para el sistema. Aquellos procesos que no contengan operaciones de no-valor añadido, así como las operaciones subcontratadas por la empresa, no serán objeto de este primer estudio.

Toda la información correspondiente al conjunto de actividades desarrolladas en cada proceso puede ser consultada en el anexo 5.

## 5.5.1 Recepción de elementos y posterior envío a reparación superficial


HOJA DE IDENTIFICACIÓN DE INCIDENCIAS POR PROCESO					
PROCESO: Recepción de elementos y su posterior envío a reparación superficial					
IMAGEN DESCRIPTIVA DEL PROCESO			DATOS DEL PROCESO		
			<ul style="list-style-type: none"><li>- Nº de operarios: 2</li><li>- Localización: Almacén</li></ul>		
Figura 13: Fenwick transportando útiles de FSF					
TABLA DE TIEMPOS DE LAS OPERACIONES (min)					
Tabla 10: Resumen de tiempos en la operación de recepción y envío a rep. superficial de FSF					
Valor agregado		0 min.			
Necesario		61,36 min.			
No valor agregado		14,16 min.			
TIEMPO TOTAL		75,52 min.			
GRÁFICA DE TIEMPOS (%)					
Gráfica 8: Porcentaje de valor añadido en la operación de recepción y envío a rep. superficial de FSF					
					
IMPACTO PRELIMINAR OBSERVADO					
	muy baja	baja	media	alta	muy alta
a) Según el nivel de peligrosidad para las personas	1				
b) Según los costes que supone	1				
c) Según cómo afecte a la producción		2			
d) Según cómo afecta a los plazos de entrega		2			

f) Según como afecte a la calidad del producto	1				
g) Según el tiempo que tenga la incidencia			3		
h) Según el ahorro que suponga su solución		2			
i) Según el espacio inadecuado que ocupe (stocks)	1				
j) Según los tiempos que consuma		2			
<b>TOTAL = 15</b>	<b>4</b>	<b>8</b>	<b>3</b>		
<b>IDENTIFICACIÓN DE DESPERDICIOS</b>					
En el conjunto de operaciones llevadas a cabo para la realización de este proceso se puede observar como existen 2 de ellas que ni aportan valor al producto ni son necesarias.					
<p>1) La realización de un Check list en la recepción del producto aparte de ser una operación que no añade valor al producto, es una operación de comprobación del estado de un elemento cuya conformidad debe darla el emisor cuando envía la pieza. Si además se cumple con los criterios de calidad durante el transporte, el elemento debe de ser recibido en óptimas condiciones. Por lo que se considera esta acción cómo innecesaria.</p> <p>2) Otra problemática la encontramos con el exceso de envío de información y de registro de operaciones que deben de realizar los operarios. Esto es debido a que los operarios aparte de registrar las operaciones de recepción y envío de elementos, deben de enviar un correo a los responsables con la información detallada.</p>					
<b>POSIBLES ACCIONES DE MEJORA</b>					
<p>1) Se plantea la realización de un análisis por parte del departamento de calidad de los Check List de recepción realizados en los últimos 2 meses. Además se debe comprobar el estado de los útiles de transporte.</p> <p>Si el resultado de ambos estudios resultan ser positivos, se propone la eliminación de dicha operación ya que se confirmaría que es innecesaria.</p> <p>2) Es un problema que se podrá solucionar en un futuro próximo con la implementación de un software de mayor potencia en la empresa. Dicho programa permite a los responsables consultar una amplia variedad de información sobre la producción por lo que ese correo será innecesario y por tanto la operación eliminada.</p>					

### 5.5.2 Recepción de reparación superficial

En el proceso de recepción de reparación superficial, las operaciones que lo componen son similares a las del proceso de recepción de elementos y su posterior envío a reparación superficial. Por lo tanto, las incidencias y posibles acciones de mejora descritas en el apartado anterior (5.1.1) aplicarán y serán también implementadas en ambos procesos.

## 5.5.3 Recateo

HOJA DE IDENTIFICACIÓN DE INCIDENCIAS POR PROCESO					
PROCESO:		Recanteo			
IMAGEN DESCRIPTIVA DEL PROCESO		DATOS DEL PROCESO			
<div><p>Figura 14: Mecanizado CNC de fibra de carbono</p></div>		<div><div>- Nº de operarios: 2</div><div>- Localización: Máquina de recanteo CNC</div></div>			
TABLA DE TIEMPOS DE LAS OPERACIONES (min)					
Tabla 11: Resumen de tiempos en la operación de recanteo en máquina CNC					
Valor agregado		76,7			
Necesario		112,1			
No valor agregado		53,1			
TIEMPO TOTAL		241,9			
GRÁFICA DE TIEMPOS (%)					
Gráfica 9: Porcentaje de valor añadido en la operación de recanteo en máquina CNC					
<div><div><div><div>No valor agregado 22%</div><div>Valor agregado 32%</div><div>Necesario 46%</div></div><div><div>■ Valor agregado</div><div>■ Necesario</div><div>■ No valor agregado</div></div></div></div>					
IMPACTO PRELIMINAR OBSERVADO					
	muy baja	baja	media	alta	muy alta
a) Según el nivel de peligrosidad para las personas			3		
b) Según los costes que supone				4	
c) Según cómo afecte a la producción				4	
d) Según cómo afecta a los plazos de entrega				4	
f) Según como afecte a la calidad del producto		2			

g) Según el tiempo que tenga la incidencia			3		
h) Según el ahorro que suponga su solución				4	
i) Según el espacio inadecuado que ocupe (stocks)	1				
j) Según los tiempos que consuma					5
<b>TOTAL = 30</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>6</b>	<b>16</b>	<b>5</b>

**IDENTIFICACIÓN DE DESPERDICIOS**


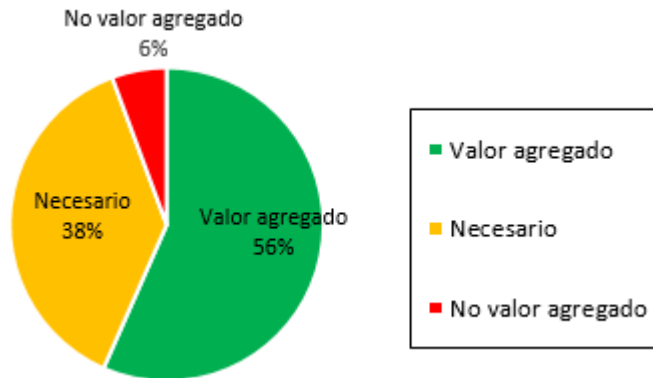
Se identifican los siguientes problemas y desperdicios en el proceso de recorte en máquina CNC.

- 1) Pérdida de tiempo en la identificación de los elementos con sus prioridades. Esta información es enviada a taller por los miembros de producción y colocada por los propios operarios. Aunque resulta de ser una información necesaria con el actual sistema productivo, todo el tiempo que un operario dedica a ello, es tiempo de máquina perdido.
- 2) Comprobar el estado de entrada de la pieza antes del mecanizado es una operación la cual no se debe realizar por el operario de máquina, debido a que el elemento debe de llegar conforme a la zona de trabajo.
- 3) Se encuentra otra problemática en relación a la búsqueda de herramientas y de documentación necesaria para poder llevar a cabo las operaciones. Se observa que el puesto de trabajo no se encuentra estandarizado ni ordenado, dando lugar a pérdidas de tiempo durante el desarrollo del proceso.
- 4) Se observa pérdidas de tiempo y falta de flexibilidad durante el cambio de pieza para recortar. A cada PN le corresponde un útil de recorte, por lo tanto es necesario un cambio de utillaje para poder mecanizar PN diferentes.  
Existe la problemática de tener la máquina parada el tiempo de colocación del útil de recorte sobre la mesa, más la colocación de la pieza sobre el útil. Lo mismo ocurre cuando se debe desmontar la pieza recortada.
- 5) Uno de los mayores desperdicios que se identifica en este proceso es la dependencia que existe con el departamento de programación para poder llevar a cabo el proceso de recorte.  
Esto se debe a la falta de repetitividad en la posición final de la pieza de fibra sobre el útil de recorte.  
Una vez colocada la pieza sobre el útil, se procede al recorte de una serie de ranuras sobre ella, llamadas "creces". Posteriormente se realiza la medición de las creces con respecto un punto de referencia situado en la propia pieza. Al tener falta de repetitividad en la colocación, estos valores no son constantes.  
Por último, esta información es dada en mano al personal de programación para que modifiquen el programa de control numérico y lo adapten a la colocación real de la pieza.

**POSIBLES ACCIONES DE MEJORA**

- 1) La identificación de las prioridades sobre los elementos es una operación que puede eliminarse en cuanto se implemente el nuevo sistema de producción (ver apartado 5.4.3)
- 2) Para la eliminación de esta incidencia se tendrá en cuenta la primera acción de mejora propuesta en el apartado 5.1.1. En la cual, mediante un estudio de las últimas incidencias registradas en la recepción de los elementos, se puede determinar cómo operaciones innecesarias la comprobación del estado de los elementos en la recepción y antes del mecanizado.
- 3) Aplicación de las herramientas Lean de estandarización y 5's en el puesto de trabajo.  
Con el desarrollo de estas técnicas se conseguirá una mayor organización y limpieza, ayudando a localizar la documentación, herramientas, Epi's, etc. con mayor rapidez.
- 4) Se propone el uso de la técnica SMED para poder optimizar el proceso de carga y descarga del utillaje de recateo.  
Se plantea la fabricación de una estructura que permita el traslado y la elevación mediante el puente grúa del utillaje de recateo con la pieza de fibra colocada sobre él. De esta forma las operaciones de montaje y desmontaje de la pieza sobre el útil se realizarían fuera de máquina, disminuyendo así el tiempo de máquina parada.
- 5) Se plantea la realización de un estudio por parte del departamento de ingeniería y calidad con los valores de las "creces" recogidas por los operarios en máquina. La finalidad de este estudio será originar un programa único con un valor promedio de las mediciones recogidas anteriormente.

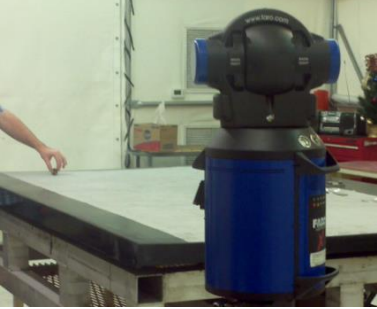

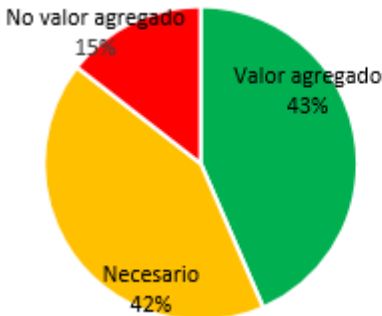
## 5.5.4 Repaso

HOJA DE IDENTIFICACIÓN DE INCIDENCIAS POR PROCESO						
PROCESO: Repaso						
IMAGEN DESCRIPTIVA DEL PROCESO				DATOS DEL PROCESO		
				<ul style="list-style-type: none"><li>- Nº de operarios: 1</li><li>- Localización: Área de repaso</li></ul>		
<p>Figura 15: Operación de repaso manual</p>						
TABLA DE TIEMPOS DE LAS OPERACIONES (min)						
<p>Tabla 12: Resumen de tiempos en la operación de repaso manual</p>						
Valor agregado		35,4	min.			
Necesario		23,6	min.			
No valor agregado		3,54	min.			
TIEMPO TOTAL		62,54	min.			
GRÁFICA DE TIEMPOS (%)						
<p>Tabla 13: Porcentaje de valor añadido en la operación de repaso manual</p>						
						
IMPACTO PRELIMINAR OBSERVADO						
	muy baja	baja	media	alta	muy alta	
a) Según el nivel de peligrosidad para las personas	1					
b) Según los costes que supone	1					





c) Según cómo afecte a la producción		2			
d) Según cómo afecta a los plazos de entrega		2			
f) Según como afecte a la calidad del producto	1				
g) Según el tiempo que tenga la incidencia			3		
h) Según el ahorre que suponga su solución		2			
i) Según el espacio inadecuado que ocupe (stocks)	1				
j) Según los tiempos que consuma		2			
<b>TOTAL = 15</b>	4	8	3		
<b>IDENTIFICACIÓN DE DESPERDICIOS</b>					
Se analiza las distintas operaciones llevadas a cabo por el departamento de ultrasonidos y se identifican los siguientes desperdicios:					
El proceso de repaso, no es un proceso de gran complejidad por lo que solo se identifica un problema.					
1) Previo al repaso de la pieza, se comprueba la documentación de la pieza y se verifica que el PN de la documentación corresponda con el PN recantado, así como la identificación física de la pieza.					
<b>POSIBLES ACCIONES DE MEJORA</b>					
1) No se plantean acciones de mejora, ya que el impacto preliminar observado no se considera importante como para tomar acciones inmediatas.					

## 5.5.5 Verificación Láser y Verificación Manual

HOJA DE IDENTIFICACIÓN DE INCIDENCIAS POR PROCESO																	
PROCESO: Verificación láser y verificación manual																	
IMAGEN DESCRIPTIVA DEL PROCESO	DATOS DEL PROCESO																
 <p><b>Figura 16:</b> Verificación con láser tracker</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Nº de operarios: 1</li> <li>- Localización: Área de verificación</li> </ul>																
TABLA DE TIEMPOS DE LAS OPERACIONES (min)																	
<p><b>Tabla 14:</b> Resumen de tiempos en la operación de verificación láser</p> <table border="1"> <tr> <td>Valor agregado</td><td>162,8 min.</td></tr> <tr> <td>Necesario</td><td>93,22 min.</td></tr> <tr> <td>No valor agregado</td><td>21,24 min.</td></tr> <tr> <td>TIEMPO TOTAL</td><td>277,3 min.</td></tr> </table>	Valor agregado	162,8 min.	Necesario	93,22 min.	No valor agregado	21,24 min.	TIEMPO TOTAL	277,3 min.	<p><b>Tabla 15:</b> Resumen de tiempos en la operación de verificación manual</p> <table border="1"> <tr> <td>Valor agregado</td><td>35,4 min.</td></tr> <tr> <td>Necesario</td><td>34,22 min.</td></tr> <tr> <td>No valor agregado</td><td>11,8 min.</td></tr> <tr> <td>TIEMPO TOTAL</td><td>81,42 min.</td></tr> </table>	Valor agregado	35,4 min.	Necesario	34,22 min.	No valor agregado	11,8 min.	TIEMPO TOTAL	81,42 min.
Valor agregado	162,8 min.																
Necesario	93,22 min.																
No valor agregado	21,24 min.																
TIEMPO TOTAL	277,3 min.																
Valor agregado	35,4 min.																
Necesario	34,22 min.																
No valor agregado	11,8 min.																
TIEMPO TOTAL	81,42 min.																
GRÁFICA DE TIEMPOS (%)																	
<p><b>Gráfica 10:</b> Porcentajes de valor añadido en la operación de verificación láser</p> 	<p><b>Gráfica 12:</b> Porcentajes de valor añadido en la operación de verificación manual</p>  <div data-bbox="1141 1545 1396 1780"> <p>■ Valor agregado</p> <p>■ Necesario</p> <p>■ No valor agregado</p> </div>																

IMPACTO PRELIMINAR OBSERVADO					
	muy baja	baja	media	alta	muy alta
a) Según el nivel de peligrosidad para las personas		2			
b) Según los costes que supone				4	
c) Según cómo afecte a la producción				4	
d) Según cómo afecta a los plazos de entrega			3		
f) Según como afecte a la calidad del producto			3		
g) Según el tiempo que tenga la incidencia			3		
h) Según el ahorre que suponga su solución			3		
i) Según el espacio inadecuado que ocupe (stocks)	1				
j) Según los tiempos que consuma				4	
<b>TOTAL = 27</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>12</b>	<b>12</b>	<b>0</b>
IDENTIFICACIÓN DE DESPERDICIOS					
La verificación láser y verificación manual son dos procesos distintos, pero forman parte de un mismo departamento por lo que se tratarán en conjunto las incidencias y acciones de mejora tomadas.					
<ol style="list-style-type: none"> <li>1) Analizando la secuencia de operaciones de ambos procesos se encuentran desperdicios y pérdidas de tiempo en la búsqueda y obtención de la documentación requerida para la realización de los mismos.</li> <li>2) Se encuentra exceso de envío de información. Además de registrar en el sistema la realización de la operación, deben de mandar un correo de piezas inspeccionadas.</li> <li>3) Pérdidas de tiempo en el montaje y desmontaje del útil de medición sobre la mesa de verificación.</li> </ol>					
POSIBLES ACCIONES DE MEJORA					
<ol style="list-style-type: none"> <li>1) Se aplicarán las herramientas Lean de estandarización y 5's en el puesto de trabajo. Con el desarrollo de estas técnicas se conseguirá una mayor organización y limpieza, ayudando a localizar los elementos de los útiles de verificación, herramientas de medición etc. con mayor rapidez. También se pretende originar copias controladas de toda la documentación requerida para la medición de los elementos. Se deberá crear un lugar localizado en el departamento donde poder localizar fácilmente dicha documentación.</li> <li>2) Es un problema que se podrá solucionar en un futuro próximo con la implementación de un software de mayor potencia en la empresa. Dicho programa permite a los responsables consultar una amplia variedad de información sobre la producción por lo que ese correo será innecesario y por tanto la operación eliminada.</li> <li>3) Mediante el uso de la herramienta SMED, se plantea el estudio y análisis detallado de los tiempos de cambio del utillaje necesario para la medición de los elementos. Para la medición de los 16 PN, existen 4 útiles de medición diferentes (1 útil por cada 4 PN). Por lo que se propone instalar 4 mesas de medición en el departamento. Cada uno de los útiles será colocado en estas 4 mesas dedicadas únicamente a la medición de las FSF. De esta forma se pretende ahorrar los tiempos de colocación y desplazamiento de útiles.</li> </ol>					

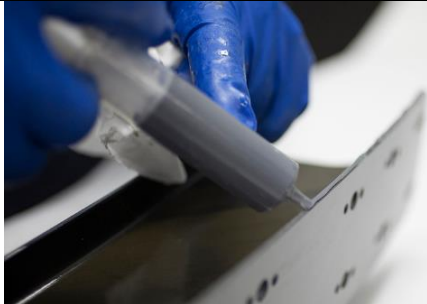
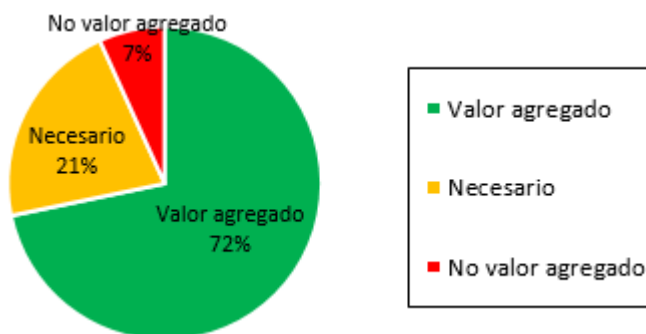
## 5.5.6 Ultrasonidos

HOJA DE IDENTIFICACIÓN DE INCIDENCIAS POR PROCESO													
PROCESO:		Ultrasonidos											
IMAGEN DESCRIPTIVA DEL PROCESO		DATOS DEL PROCESO											
<div></div> <p><b>Figura 17:</b> Operación de inspección por ultrasonidos</p>		<div><div>- Nº de operarios: 1</div><div>- Localización: Área de inspección de ultrasonidos</div></div>											
TABLA DE TIEMPOS DE LAS OPERACIONES (min)													
<p><b>Tabla 15:</b> Resumen de tiempos en la operación de inspección por ultrasonidos</p> <table><tr><td>Valor agregado</td><td>141,6 min.</td></tr><tr><td>Necesario</td><td>46,02 min.</td></tr><tr><td>No valor agregado</td><td>17,7 min.</td></tr><tr><td>TIEMPO TOTAL</td><td>205,3 min.</td></tr></table>						Valor agregado	141,6 min.	Necesario	46,02 min.	No valor agregado	17,7 min.	TIEMPO TOTAL	205,3 min.
Valor agregado	141,6 min.												
Necesario	46,02 min.												
No valor agregado	17,7 min.												
TIEMPO TOTAL	205,3 min.												
GRÁFICA DE TIEMPOS (%)													
<p><b>Gráfica 11:</b> Porcentaje de valor añadido en la operación de inspección por ultrasonidos</p> <div><div></div><div><div>■ Valor agregado</div><div>■ Necesario</div><div>■ No valor agregado</div></div></div>													
IMPACTO PRELIMINAR OBSERVADO													
	muy baja	baja	media	alta	muy alta								
a) Según el nivel de peligrosidad para las personas	1												
b) Según los costes que supone		2											

c) Según cómo afecte a la producción		2			
d) Según cómo afecta a los plazos de entrega		2			
f) Según como afecte a la calidad del producto		2			
g) Según el tiempo que tenga la incidencia			3		
h) Según el ahorre que suponga su solución		2			
i) Según el espacio inadecuado que ocupe (stocks)	1				
j) Según los tiempos que consuma			3		
<b>TOTAL = 18</b>	2	10	6		
<b>IDENTIFICACIÓN DE DESPERDICIOS</b>					
Se analiza las distintas operaciones llevadas a cabo por el departamento de ultrasonidos y se identifican los siguientes desperdicios:					
1) Antes de comenzar con la inspección se comprueba que toda la documentación de la pieza esté conforme y se consulta en el archivo de control si se ha inspeccionado anteriormente. Es decir, se está verificando algo que ya debería de venir previamente de los procesos anteriores correctamente, por lo que la realización de estas operaciones se traduce en desperdicios					
<b>POSIBLES ACCIONES DE MEJORA</b>					
1) Se plantea la realización por parte de calidad de un seguimiento de las incidencias documentales que son denunciadas por el departamento de ultrasonidos. Informando de ello al equipo de producción para que puedan informar a los procesos anteriores de los errores cometidos y corregirlos. Una vez corregidas las incidencias documentales, la operación pasará a ser innecesaria y por lo tanto se procederá a su eliminación.					

## 5.5.7

## Sellado de cantos

HOJA DE IDENTIFICACIÓN DE INCIDENCIAS POR PROCESO					
PROCESO: Sellado de cantos					
IMAGEN DESCRIPTIVA DEL PROCESO			DATOS DEL PROCESO		
			<div>- Nº de operarios: 1</div> <div>- Localización: Área de sellado de cantos</div>		
Figura 18: Operación de sellado de cantos					
TABLA DE TIEMPOS DE LAS OPERACIONES (min)					
Tabla 16: Resumen de tiempos en la operación de sellado de cantos					
Valor agregado		374,1	min.		
Necesario		112,1	min.		
No valor agregado		35,4	min.		
TIEMPO TOTAL		521,6	min.		
GRÁFICA DE TIEMPOS (%)					
Gráfica 12: Porcentaje de valor añadido en la operación de sellado de cantos					
			<div>■ Valor agregado</div> <div>■ Necesario</div> <div>■ No valor agregado</div>		
IMPACTO PRELIMINAR OBSERVADO					
	muy baja	baja	media	alta	muy alta
a) Según el nivel de peligrosidad para las personas	1				
b) Según los costes que supone		2			
c) Según cómo afecte a la producción		2			
d) Según cómo afecta a los plazos de entrega		2			

f) Según como afecte a la calidad del producto		2			
g) Según el tiempo que tenga la incidencia			3		
h) Según el ahorro que suponga su solución		2			
i) Según el espacio inadecuado que ocupe (stocks)	1				
j) Según los tiempos que consuma		2			
<b>TOTAL = 17</b>	2	12	3		
<b>IDENTIFICACIÓN DE DESPERDICIOS</b>					
Tras la recopilación de la información en el proceso de sellado de cantos, se identifican los siguientes desperdicios:					
1) Comprobación de la documentación 2) Movimientos y pérdidas de tiempos en la búsqueda de las herramientas de trabajo					
<b>POSIBLES ACCIONES DE MEJORA</b>					
1) Se utilizará el estudio de calidad para las incidencias documentales descrito en el apartado 5.5.6 para la eliminación de la operación de comprobación de la documentación en este proceso. 2) De igual forma que en procesos anteriores se aplicará el uso de las técnicas de estandarización y 5's en los puestos de trabajo.					

#### 5.5.8 Envío a pintura, recepción de pintura y envío a producto terminado.

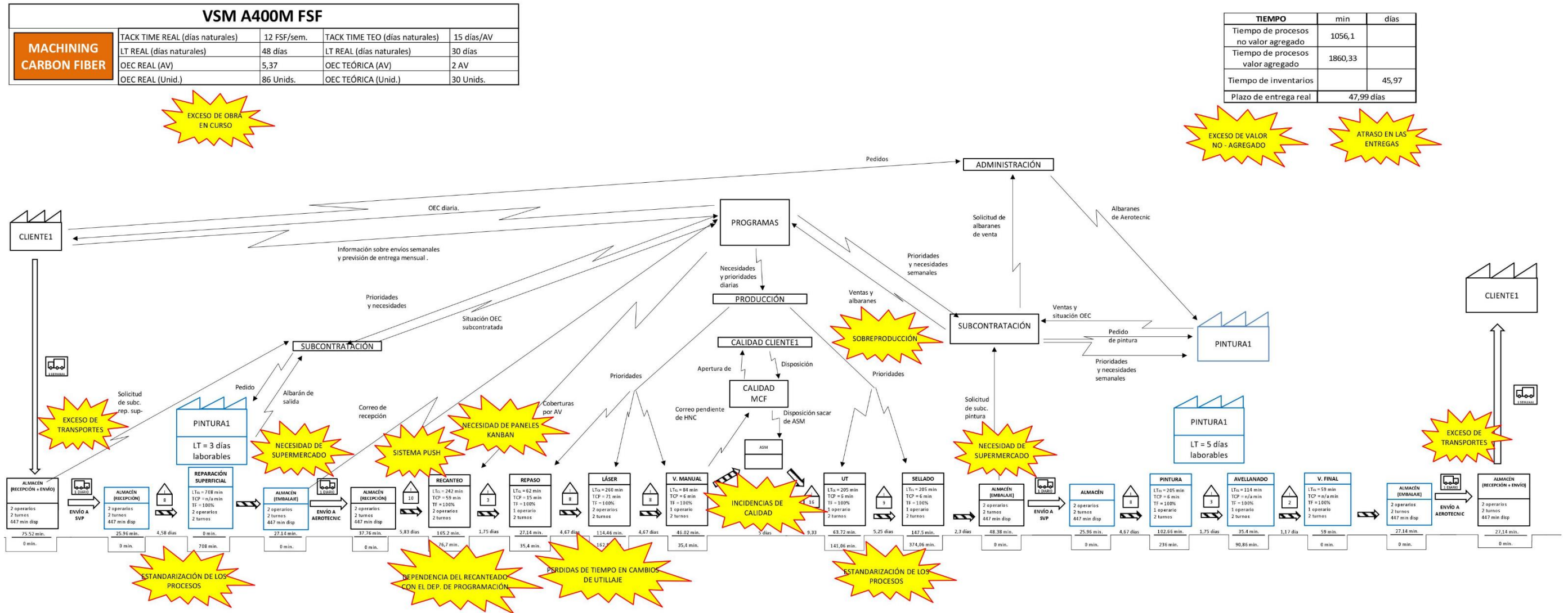
En los procesos logísticos de envío a pintura, recepción de los elementos de pintura y envío al cliente del producto terminado, las incidencias localizadas y las posibles mejoras a implementar son similares a las del proceso de recepción de elementos y su posterior envío a reparación superficial (apartado 5.1.1). Por lo tanto, se aplicarán dichas mejoras serán también aplicados en estos procesos.

#### 5.6 Identificación de las incidencias en el VSM actual

En este apartado serán representados en el VSM actual las incidencias identificadas durante su análisis. Estas incidencias han sido descritas en los apartados anteriores 5.4 y 5.5.



**VSM ACTUAL**







## Capítulo 6. VSM futuro. Oportunidades de mejora.

### 6.1 Introducción

### 6.2 Recopilación de la información para la realización del VSM futuro

En este apartado se recopilará toda la información necesaria para poder trazar la primera versión del mapa de valor futuro.

Para ello no solo se tendrán en cuenta la eliminación de las fuentes de desperdicio localizadas en apartados anteriores. También se responderá en este apartado a una lista de preguntas que se utilizarán como instrumento para desarrollar las ideas y posteriormente plasmarlas en el VSM futuro.

Estas preguntas se deben responder en el orden preferente. Basándose en las respuestas, se irá construyendo la nueva cadena de valor.

Las preguntas son las siguientes:

#### 1) ¿Cuál es el tack time teórico del producto?

El tack time teórico o ciclo de producción del producto en el VSM futuro, coincide con lo establecido en el VSM actual (Ver apartado 5.2.5). Este dato viene dado por las necesidades reales de entrega del cliente y son las siguientes:

Tack Time (días naturales) = 15 días/Avión

Tack Time (días laborables) = 11 días/Avión.

Si cada AV tiene un total de 16 elementos, el número de piezas que debe de producir en el sistema de producción es de:

$16 \text{ unidades} / 11 \text{ días laborables} = 1.45 \approx 1.5 \text{ unidades/día}$

#### 2) ¿Cuál es el lead time teórico de producto?

El lead time teórico del producto es exigido por el cliente y es de 30 días naturales por avión (22 días laborables al mes).

**3) ¿Qué cantidad de obra en curso teórica se debe tener?**

A partir del lead time teórico y el tack time del producto se puede calcular la cantidad de OEC teórica con la que se debe disponer para poder cumplir con las entregas. La ecuación utilizada para su cálculo es la siguiente:

$$OEC (AV) = \frac{Lead\ time\ (días)}{Tack\ Time\ \left(\frac{días}{AV}\right)}$$

**Ecuación 9: Cantidad de Obra en curso**

Resultando:

$$- OEC (AV) = 30\ (días\ naturales) / 15\ (días/AV) = 2\ AV$$

Como se puede apreciar en la fórmula, si se cumplen con los lead time de entrega y el tack time de producción, se debe de tener una cantidad de obra en curso de dos aviones como mínimo, repartidos entre las instalaciones de pintura<sup>1</sup> y MCF. De lo contrario se corre el riesgo de no poder cumplir con las entregas por falta de elementos en curso.

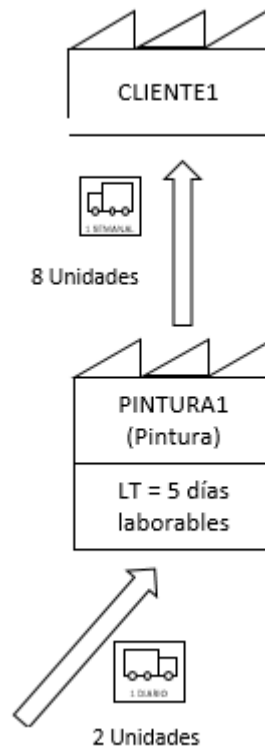
Si la obra en curso es menor que la cantidad teórica, se tendrá que disminuir el lead time de entrega de algunos elementos o aumentar el tack time de producción para poder cumplir con las necesidades.

**4) ¿Es necesario almacenar los productos en supermercados de productos terminados, o tras producirlos se envían directamente para expedición?**

En Machining Carbon Fiber, las FSF son elementos de gran tamaño (difíciles de almacenar) y se fabrican 16 tipos diferentes por cada avión. La demanda del cliente permanece constante a lo largo del año. Por lo que se establece (como ya estaba definido) el envío de las piezas directamente a cliente tras su finalización.

En el VSM actual, los elementos terminados son devueltos a las instalaciones de Machining Carbon Fiber para la recogida por parte del cliente. Como se ha podido comentar en el apartado anterior 5.4.1 se pretende modificar esto, y que los elementos sean recogidos directamente por el cliente una vez finalizado el producto en las instalaciones de pintura<sup>1</sup> sin la necesidad de tener que almacenarlos.

Hay que tener en cuenta que el transporte de expediciones del cliente tiene una frecuencia de una vez por semana y recoge en lote de 8 unidades cada vez. Como se podrá ver a continuación, el ritmo de producción en el proceso de pintura será de 2 unid. al día. Por lo tanto, se creará un inventario de producto terminado hasta que la cantidad de unidades en ese inventario sea igual a 8.



**Figura 19:** Expediciones de piezas terminadas en el VSM futuro

- 5) ¿Cómo se establece el suministro de piezas entre cliente, subcontratista y la empresa?  
¿Cuál es el lote de fabricación de la empresa subcontratada? ¿Puede trabajar al mismo  
tack time Machinig Carbon Fiber que Pintura1 para favorecer al flujo continuo de  
piezas en los diferentes procesos?

- **Cliente1 → Pintura1**

Una vez calculado los lead time y tack time del sistema productivo general, tenemos que tener en cuenta el lote de suministro del cliente al subcontratista y el lote de fabricación de la empresa subcontratada.

El cliente, según el tack time debe de enviar un avión cada 15 días al subcontratista. La forma de envío coincide con el establecido en el VSM actual

- Tack Time de suministro = 15 días/Avión
- Número de elementos suministrados = 8 unidades/semana

Es decir, cada 5 días laborables 8 unidades son recibidas (el mismo día) por la empresa subcontratada.

Esto supone tener que disponer de un inventario de elementos en la primera operación de reparación superficial en Pintura1, ya que dicha empresa no es capaz de meter en el flujo productivo las 8 unidades al mismo tiempo.

- **Pintura1 (proceso de rep. Superficial) → Machining Carbon Fiber**

Como se ha comentado anteriormente, el proceso de Reparación superficial requiere de un inventario inicial. Esto es debido a que el lote de fabricación de la empresa Pintura1 es de 2 unidades y su tack time es de 1 lote/día. Esto quiere decir que Pintura1 va a suministrar a Machining Carbon Fiber con un ritmo de fabricación de 2 unidades/día.

Se debe de tener en cuenta que el primer día de recepción de los elementos es dedicado a operaciones de reactivado de la superficie para la posterior operación de reparación superficial, por lo que no se entrega los primeros elementos hasta el segundo día de la llegada a sus instalaciones.

Es decir, el suministro de piezas por parte de Pintura1 a Machining Carbon Fiber será el siguiente:

- **Primer día = 0 piezas → 8 unidades en el inventario**
- **Segundo día = 2 piezas → 6 unidades en el inventario**
- **Tercer día = 2 piezas → 4 unidades en el inventario**
- **Cuarto día = 2 piezas → 2 unidades en el inventario**
- **Quinto día = 2 piezas → 0 unidades en el inventario**

Por lo que se puede concluir:

- Tack Time de suministro = 5 días laborables/ 8 unid. = 10 días laborables /AV
- LT suministro de las dos primeras piezas = 2 días laborables
- LT suministro del medio avión completo = 5 días laborables

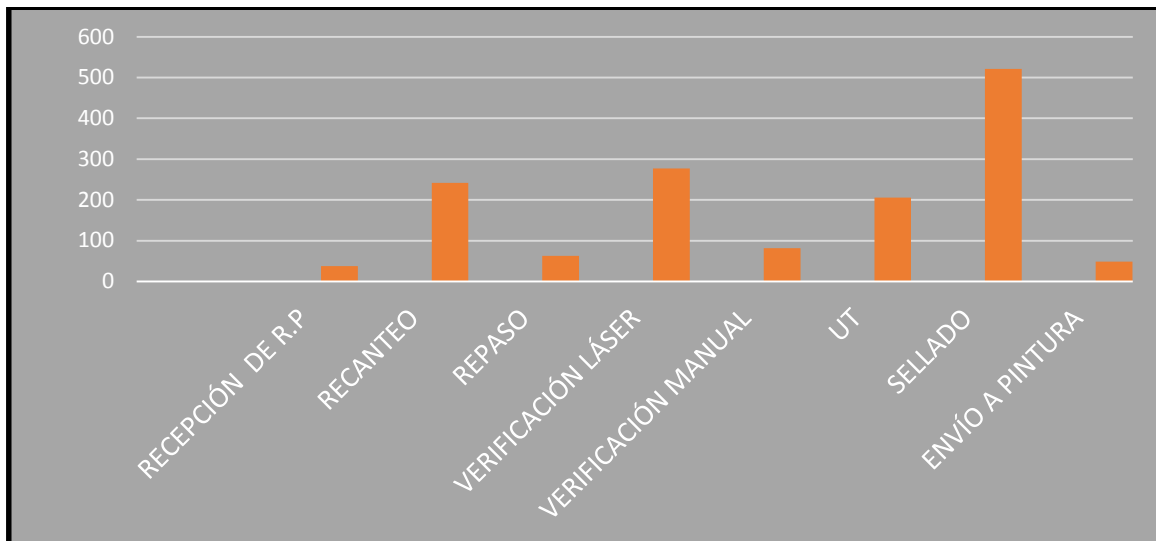
- **Machining Carbon Fiber → Pintura1 (proceso de pintura)**

Para favorecer el flujo continuo y eliminar que existan inventarios intermedios entre empresa y subcontratista, Machining Carbon Fiber opta por trabajar al mismo ritmo de fabricación que la empresa Pintura1. Es decir, cada proceso realizará cada día dos unidades.

Por lo tanto, cada día dos unidades saldrán del último proceso que se realiza en MCF "envío a pintura" y serán enviadas en el transporte de ruta a la empresa subcontrata Pintura1.

**6) ¿En qué procesos de la línea de producción se puede introducir flujo continuo?**

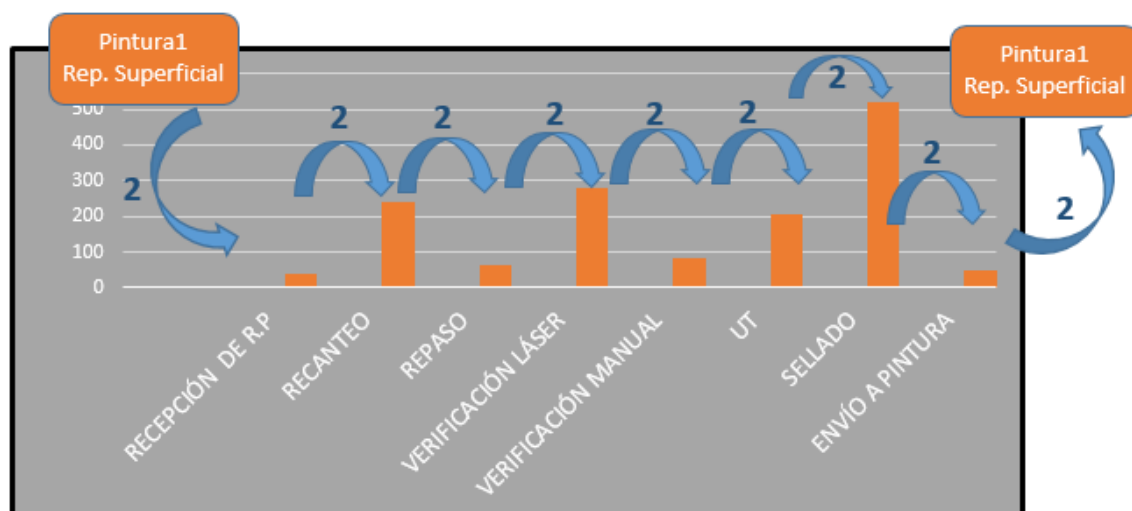
La gráfica que se muestra a continuación (gráfica 14) resume la duración en segundos de los tiempos de ciclo reales de cada proceso que se realizará en Machining Carbon Fiber cuando se establezca el VSM futuro.

**Gráfica 13:** Tiempos de ciclo de los procesos realizados en MCF

Como se puede observar algunos de los tiempos de ciclo son más breves que otros. Por ejemplo, las operaciones de recepción de reparación superficial y envío a pintura tienen menor tiempo de ciclo con respecto la operación de sellado de cantos.

Esto quiere decir que para poder establecer un flujo continuo entre los procesos y poder producir cada día los mismos elementos en cada uno de ellos (mismo takt time de producción), los operarios de los diferentes departamentos tendrán que trabajar más o menos tiempo por día en cada elemento, según la operación que corresponda.

Un ejemplo de flujo continuo para Machining Carbon Fiber sería como el que se indica en la siguiente gráfica (gráfica 15).

**Gráfica 14:** Ejemplo de flujo continuo en los procesos de MCF

Se establecería un flujo continuo según el tack time establecido de 2 elementos cada día por cada proceso. Es decir, de cada proceso saldrían 2 unidades (una a una) al proceso siguiente, pero también entrarían otras 2 unidades provenientes del proceso anterior.

El método Lean consiste en situar los procesos uno inmediatamente después del otro (por lo general, en configuración celular). En este caso, esto no será posible implementarlo en el presente proyecto ya que para ello se tendría que tener en cuenta otros muchos factores del sistema de producción de la planta (fabricación de otros elementos diferentes, organización de los departamentos, Lay-out de la planta etc...)

Por lo tanto, se establecerá el flujo continuo entre aquellos procesos donde se pueda asegurar un ritmo de trabajo diario según el tack time:

**RECEPCIÓN R.P → RECANTEO → REPASO → VERIFICACIÓN LÁSER → VERIFICACIÓN MANUAL  
→ UT → SELLADO DE CANTOS → ENVÍO A PINTURA**

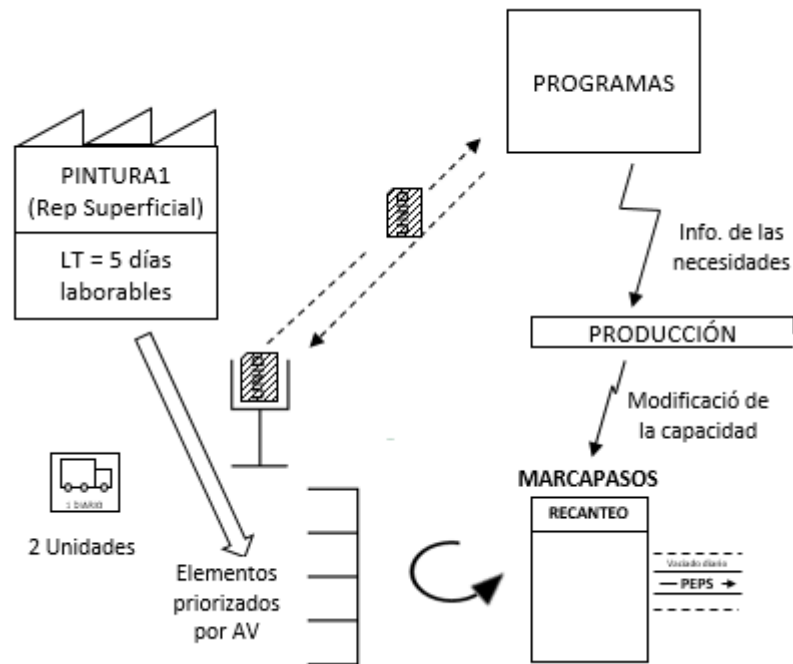
#### **7) ¿Dónde se puede introducir “supermercados Kanban” para controlar la producción?**

La empresa Machining Carbon Fiber necesitará de un supermercado de flujo pull para el control de la producción. Un supermercado para las piezas provenientes de reparación superficial.

##### **Piezas provenientes de Reparación Superficial**

Con la finalidad de que la cadena de valor Lean de la empresa abarque todo el sistema productivo, se necesita instalar un supermercado en el Área de almacén. Concretamente en la operación de recepción de elementos provenientes de la operación subcontratada “Reparación superficial”.

Aunque la empresa subcontratada “Pintura1” no está preparada para trabajar con el sistema Kanban, en el Área de almacén se colocarán las tarjetas Kanban en las casillas correspondiente de recepción. Estas tarjetas mostrarán la fecha de llegada prevista, teniendo en cuenta el LT de envío de elementos por parte de cliente1 a pintura1 más el LT del conjunto de procesos de Reparación Superficial. El departamento de almacén adjuntará una tarjeta Kanban de retiro a cada elemento que reciba, para uso interno y será enviada la información a control de producción en el momento de retirada del elemento. De esta manera, el control de producción puede comunicar al cliente la necesidad de recibir más elementos en función del consumo real, así como realizar el seguimiento en los primeros pasos del sistema productivo.



**Figura 20:** Supermercado Kanban para el control de la producción

**8) ¿En qué proceso/s se debe controlar la producción (proceso marcapasos)? ¿Se puede controlar en un solo proceso de producción?**

La implementación de un sistema pull con supermercado, requiere de la programación de la producción en un punto de la cadena de valor. Este punto, llamado “proceso marcapaso” marca el ritmo de todo el proceso anterior controlando la producción.

Por ejemplo, cuando ocurran fluctuaciones en el volumen de producción, el proceso marcapasos determinará la capacidad y/o aumento del ritmo de producción necesaria en ese y los demás procesos de atrás para poder cumplir con las fechas de entrega. Por ese motivo, la transferencia de los elementos del proceso marcapaso a los procesos siguientes deben de realizarse en flujo continuo.

En el presente proyecto, el proceso marcapasos será el recanteado.

**9) ¿Cómo se va a nivelar y priorizar la combinación de los distintos elementos y productos en el proceso marcapasos?**

Como se ha comentado en el punto anterior, el supermercado se instalará en el almacén. El departamento de control de producción será el encargado de colocar en el panel Kanban las diferentes tarjetas según los pedidos emitidos por parte del cliente. En estas tarjetas, no solo se



mostrará la fecha prevista de recepción del elemento de la operación de reparación superficial, si no que se mostrará el avión al que dicho elemento cubre.

Existe la posibilidad de que algún elemento se retrase en la producción con respecto a los elementos que cubren el mismo avión. Por ejemplo, la empresa subcontrata puede retrasarse en la operación de reparación superficial o por otro lado se deba realizar una reposición de ese elemento debido a que el elemento anterior a sufrido alguna incidencia durante el sistema productivo. Es por esto, por lo que se necesita asignar a cada elemento con un número de AV y así conocer que elemento tiene mayor prioridad que otro. En la siguiente figura se muestra un ejemplo del panel Kanban de almacén.

MÓVILES										FIJAS									
AV	M1I	M1D	M2I	M2D	M3I	M3D	M4I	M4D	FECHA PREVISTA	AV	F1I	F1D	F2I	F2D	F3I	F3D	F4I	F4D	FECHA PREVISTA
81										81									
82										82									
83										83									
84										84									
85										85									

**Figura 21:** Ejemplo de panel Kanban de recepción

Como se puede observar en el AV82 existe un elemento que aún no ha sido cubierto y ya se ha comenzado a producir el avión siguiente. En este caso, en cuanto almacén reciba en las instalaciones un elemento M1D, se le asignará automáticamente el AV82. El proceso marcapasos será la primera pieza que meterá en producción y los diferentes departamentos y controles de producción harán todo lo posible para poder priorizar ese elemento por delante de todos los demás.

A la derecha de la tabla se encuentra la columna de fecha prevista de recepción del AV. De esta forma se indica de manera visual el estado de las coberturas (aviones) con respecto las fechas planificadas. Esta información será actualizada por el control de producción.

#### 10) ¿Qué mejoras Kaizen serán necesarias aplicar en los procesos para que la cadena de valor sea el que describe el VSM futuro?

Durante el desarrollo de los apartados 5.4 y 5.5 se han explicado las incidencias de mayor impacto preliminar observado, pero existe una importante diferencia entre ellas.

Las incidencias detectadas por proceso (apartado 5.5) son mejoras Kaizen que disminuirán el tiempo de producción y harán que el sistema productivo sea más eficiente. Son mejoras

centradas en cada operación y su aplicación y desarrollo no afecta a la implementación del VSM futuro.

Por el contrario, el desarrollo y solución de las incidencias encontradas en el VSM actual (apartado 5.4) sí afectan a la planificación e implementación del VSM futuro. Esas incidencias impiden el flujo continuo entre alguno de los procesos (incidencias de calidad), aumentan considerablemente los tiempos de valor no agregado (exceso de transportes) y también impiden un flujo pull entre procesos (sobreproducción).

Por lo que es indispensable la solución de estas incidencias para poder implementar en el sistema productivo el VSM futuro que será mostrado a continuación.

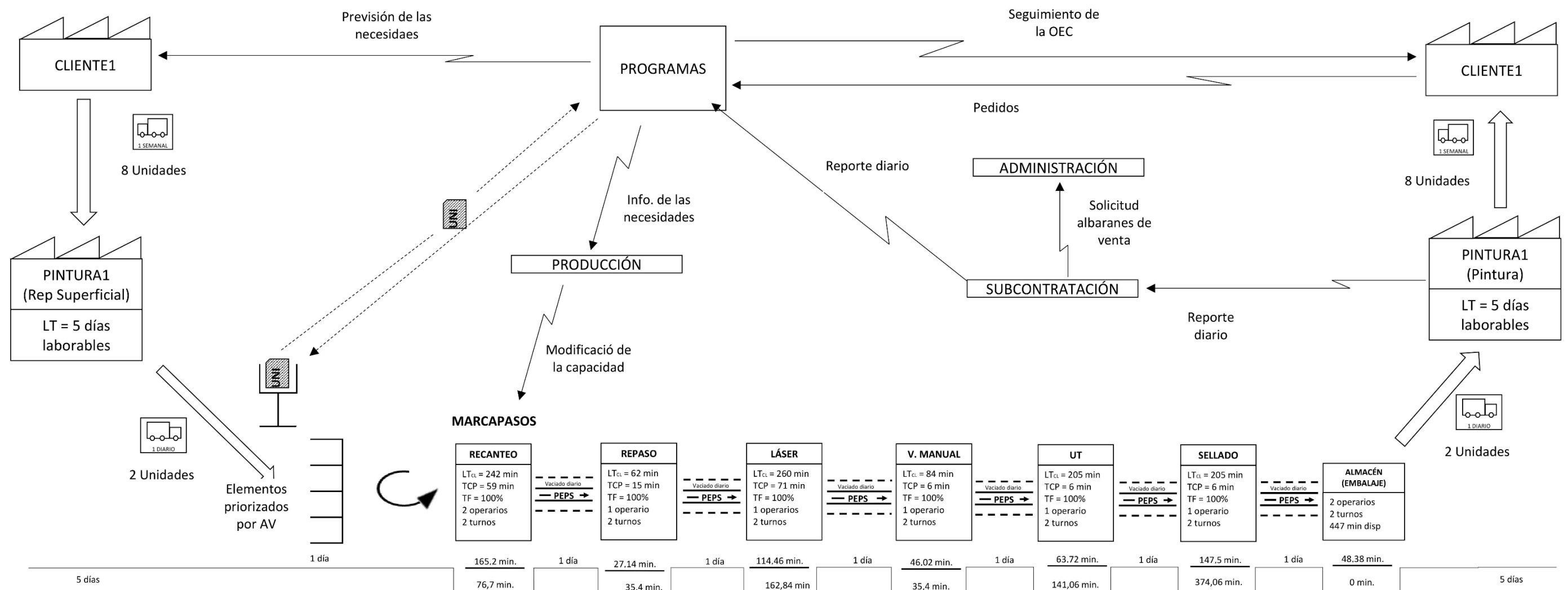
### 6.3 Realización del VSM futuro

Tras recoger todos los datos necesarios se procede a la representación del VSM futuro, quedando a continuación como se refleja:

## VSM FUTURO

VSM A400M FSF				
MACHINING CARBON FIBER	TACK TIME TEÓRICO (días nat)	15 días/AV		
	LEAD TIME TEÓRICO (días nat.)	30 días		
	OEC TEÓRICA	2 AV		

TIEMPO	min	días
Tiempo de procesos no valor agregado		0,42
Tiempo de procesos valor agregado	825,46	10
Tiempo de inventarios		7
Plazo de entrega real	18 días	





## 6.4 Plan táctico de mejora (TIP)

Llegados a este punto del proyecto, es el momento de elaborar un plan donde poder recoger todas aquellas acciones que posibilitarán el cambio desde el VSM Actual al VSM Futuro, elaborar un TIP.

Como se ha podido explicar en el apartado anterior (3.4.3.2), se seguirán una serie de pasos para la elaboración del mismo. Se dejará claro tras su finalización que hay que hacer, cuándo y por quién, así como permitirá el avance y seguimiento sobre la planificación previamente acordada.

### 6.4.1 Paso 1 y paso 2: Brainstorm y priorización de las acciones de mejora

Tras el ejercicio de Brainstorm realizado entre los integrantes del equipo, se procede a la priorización de las ideas e incidencias detectadas en el paso anterior. Para ello se tendrá en cuenta el trabajo previamente realizado en los apartados de identificación de las incidencias (apartados 5.4 y 5.5), así como la puntuación dada en los apartados de “impacto preliminar observado” de cada hoja de incidencia.

Posteriormente se realiza un cuadro resumen donde se indica en las diferentes columnas:

- Puntuación del impacto preliminar observado
- Prioridad de la acción según puntuación obtenida
- Incidencia a resolver
- Acción de mejora propuesta
- Departamento responsable

Comentar que se omiten los nombres concretos de las personas que lideran las acciones. En su lugar se indicará el departamento al que corresponde la acción.

El cuadro resumen del plan táctico de mejora se muestra a continuación:

## PLAN TÁCTICO DE MEJORA

Puntuación	Prioridad	Incidencia a resolver	Acción de mejora	Dpto. Responsable
34	1	Exceso de transportes logísticos	Proyecto de creación de un nuevo útil de transporte	Ingeniería de producción
34	2	Incidenencias de Calidad	Proyecto de estudio, análisis y solución para dimensiones fuera de tolerancia en los elementos	Calidad del producto
33	3	Sobre producción, exceso de obra en curso y sistema push	Proyecto de cambio del sistema productivo actual al sistema productivo futuro <b>PENDIENTE DE PRIORIDADES 1 Y 2</b>	Producción
30	4	Desperdicios en la operación de recantado		
	4.1	Pérdida de tiempo en la identificación de los elementos con sus prioridades	<b>Pendiente de la implementación de la prioridad 3 para su resolución</b>	Pendiente Asignar
	4.2	Comprobación del estado de entrada de la pieza antes del mecanizado	<b>Pendiente de la resolución de la prioridad 8.1 para su eliminación</b>	Pendiente Asignar
	4.3	Puesto de trabajo no ordenado ni estandarizado	Proyecto de aplicación de herramientas Lean y 5's en el puesto de trabajo	Lean
	4.4	Pérdidas de tiempo y falta de flexibilidad durante el cambio de pieza para recantado	Proyecto de creación de estructura de traslado pieza-máquina	Ingeniería de producción
	4.5	Dependencia con el departamento de programación para poder llevar a cabo el recantado	Proyecto de análisis y estudio para la creación de un programa de recantado único.	Ingeniería de producción
27	5	Desperdicios en las operaciones de verificación		
	5,1	Pérdidas de tiempo en la búsqueda y obtención de la documentación necesaria	Proyecto de aplicación de herramientas Lean y 5's en el puesto de trabajo	Lean

	5,2	Exceso de envío de información y registro de las operaciones	Proyecto de implementación de un nuevo software en la empresa	TIC
	5,3	Pérdidas de tiempo en el cambio de útil de verificación	Compra y colocación de 4 mesas de medición en el departamento	Producción
18	6	Desperdicios en la operación de ultrasonidos		
	6,1	Pérdidas de tiempo en la comprobación de documentación	Proyecto de seguimiento y corrección por parte de las incidencias documentales detectadas	Calidad del producto
17	7	Desperdicios en la operación de sellado de cantos		
	7.1	Pérdidas de tiempo en la comprobación de la documentación	Pendiente de la resolución de la prioridad 6.1 para su eliminación	Pendiente Asignar
	7.2	Pérdidas de tiempo en la búsqueda y obtención de las herramientas de trabajo	Proyecto de aplicación de herramientas Lean y 5's en el puesto de trabajo	Lean
15	8	Desperdicios en los procesos de envío y recepción en almacén		
	8.1	Realización de un Check list de recepción	Estudio y análisis de los Check list de recepción de los últimos 2 meses	Calidad del producto
	8.2	Exceso de envío de información y registro de las operaciones	Proyecto de implementación de un nuevo software en la empresa	TIC

Una vez definidas las diferentes acciones de mejora, es el momento de desarrollar en mayor profundidad las acciones definidas como prioritarias.

Como se puede analizar en el VSM futuro mostrado en el apartado 6.3, la implementación de las acciones definidas en el TIP como prioridad 1, 2 y 3, serían suficientes para poder llevar a cabo e iniciar un sistema de producción según lo establecido en ese estado futuro. Por lo que se establecen como acciones prioritarias las siguientes:

PLAN TÁCTICO DE MEJORA			
Prioridad	Incidencia a resolver	Acción de mejora	Dpto. Responsable
1	Exceso de transportes logísticos	Proyecto de creación de un nuevo útil de transporte	Ingeniería de producción
2	Incidencias de Calidad	Proyecto de estudio, análisis y solución para dimensiones fuera de tolerancia en los elementos	Calidad del producto
3	Sobre producción, exceso de obra en curso y sistema push	Proyecto de cambio del sistema productivo actual al sistema productivo futuro <b>PENDIENTE DE PRIORIDADES 1 Y 2</b>	Producción

Se puede comprobar como la prioridad 3 depende en gran medida de las prioridades 1 y 2. Esto será tomado en cuenta durante la realización de la planificación.

El resto de acciones de mejora, centradas en la resolución de los desperdicios encontrados en cada uno de los procesos, son mejoras Kaizen que no afectan al funcionamiento del sistema productivo y por lo tanto pueden ser desarrolladas en paralelo.

#### 6.4.2 Paso 3: Diseño detallado de las acciones definidas como prioritaria

Cuando ya han sido definidas cuáles serán las acciones a implementar con una alta prioridad, estas deben de ser desarrolladas con mayor detenimiento por el equipo. Se debe describir en profundidad el problema, así como la propuesta de mejora que se pretende implantar.

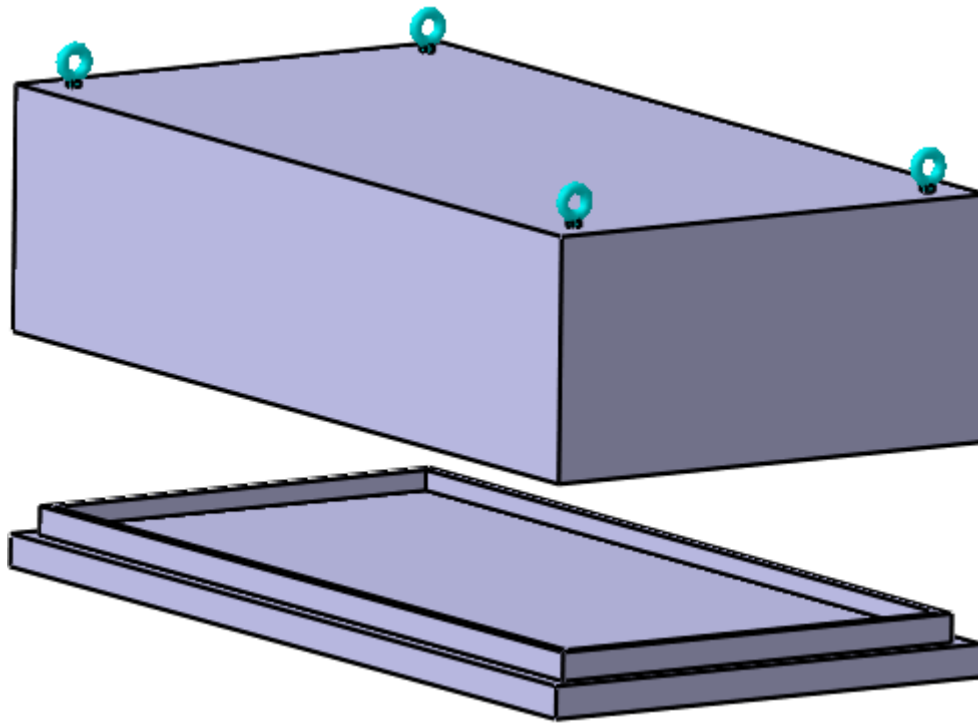
En el presente proyecto será desarrollado con mayor detalle la primera acción de mejora del TIP.

PLAN TÁCTICO DE MEJORA			
Prioridad	Incidencia a resolver	Acción de mejora	Dpto. Responsable
1	Exceso de transportes logísticos	Proyecto de creación de un nuevo útil de transporte	Ingeniería de producción



## 1. Descripción detallada del problema

Actualmente el útil de transporte utilizado para los envíos y recogidas de elementos por parte de Cliente1 es el siguiente:



**Figura 22:** Croquis de utillaje metálico de transporte FSF

Se trata de un utillaje metálico, en cuyo interior caben 4 FSF. Como se puede ver en la figura 22. El útil consta de dos partes. La primera parte consiste en una plataforma metálica plana en la cual, se fijan los soportes donde son colocados los elementos. La segunda parte consiste en un cajón metálico que protege a los elementos una vez situado sobre la plataforma.

Para el levantamiento de este pesado cajón, es necesario la utilización de un puente grúa situado en el exterior de la nave como el que se muestra a continuación (figura 23).



**Figura 23:** Puente grúa exterior

La empresa subcontratada Pintura1, carece de puente grúa y supone una inversión bastante fuerte para ellos. Por lo tanto, aunque la primera operación se realiza en las instalaciones de Pintura1, Cliente1 primero debe entregar las piezas en las instalaciones de MCF (esta si cuenta con puente grúa exterior) descargar los elementos y posteriormente enviar los elementos en cajones de madera acondicionados especialmente para transportarlos de forma segura hacia Pintura1. Resultando los movimientos logísticos como se muestran a continuación (figura24):



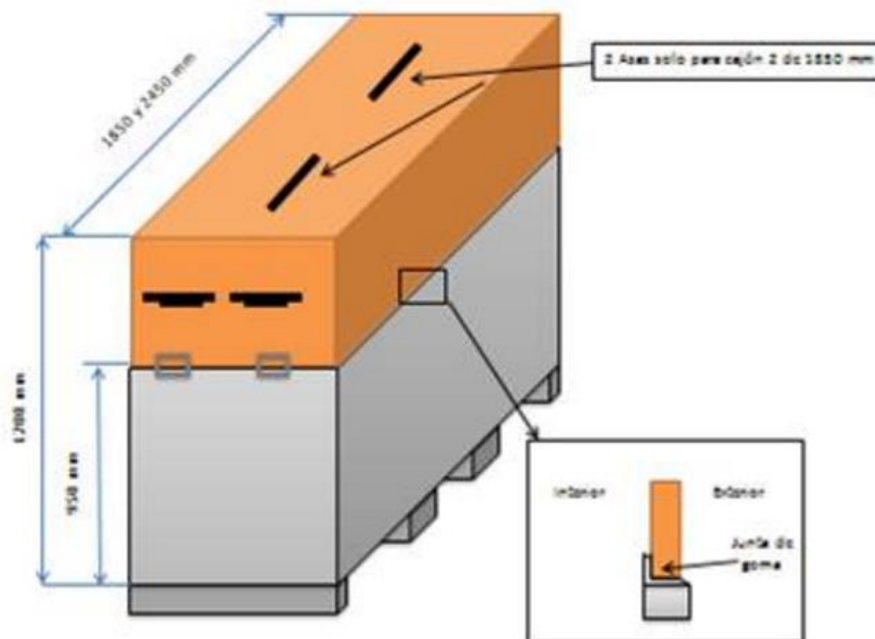
**Figura 24:** Flujo de transporte en el sistema productivo actual

## 2. Propuesta de mejora

La acción propuesta para llevar a cabo la mejora es el proyecto de creación de un útil de transporte que permita a cliente1 enviar y recoger los elementos en lote de 8 unidades.

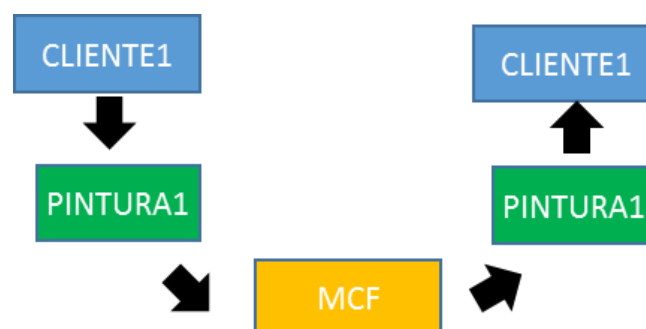
Se plantea la utilización de un útil metálico individual en forma de caja, con las dimensiones necesarias para poder transportar en ella cualquier FSF. De esta forma no se restringe la necesidad de entrega en lotes de 4 u 8. Además permite transportar unidades sueltas en el caso que sea necesario

Un croquis del ejemplo que se propone realizar es el siguiente:



**Figura 25:** Diseño de prueba para útil de transporte

Con este útil se pretende que los movimientos logísticos se reduzcan, tal y como se muestran en la siguiente figura:



**Figura 26:** Flujo de transportes en el sistema productivo futuro

**3. Tareas a realizar para llevar a cabo la acción.**

A continuación se cumplimenta la tabla en la cual queda reflejado las tareas a seguir para poder llegar al objetivo de implementación de la acción de mejora, así como también se indica el departamento responsable de la acción.

**Tabla 17:** Listado de tareas a realizar para llevar a cabo el nuevo útil de transporte

<b>Tare a Nº</b>	<b>Listado de tareas</b>	<b>Responsable</b>
<b>1</b>	Generación del croquis del utillaje con las dimensiones y materiales finales.	Ingeniería de utillaje
<b>2</b>	Comprobación de las medidas y análisis de posibles cambios que puedan mejorar la ergonomía, peso, anclajes, movimiento, etc. del útil.	Logística
<b>3</b>	Aceptación y validez del modelo	Calidad de utillaje
<b>4</b>	Envío de la propuesta y solicitud de oferta a los proveedores y fabricantes.	Compras
<b>5</b>	Aceptación de la oferta recibida	Dirección
<b>6</b>	Seguimiento de la fabricación y confirmación de las fecha de entrega de la primera fabricación.	Subcontratación
<b>7</b>	Realización de prueba de movimientos, resistencia y ergonomía de la primera fabricación	Calidad de utillaje/Logística
<b>8</b>	Aceptación y validez final al útil de transporte	Calidad de utillaje
<b>9</b>	Envío de la propuesta y solicitud de oferta a los proveedores para la fabricación del resto de utillajes	Compras
<b>10</b>	Aceptación de la oferta recibida	Dirección
<b>11</b>	Seguimiento de la fabricación y confirmación de las fechas de entrega del resto de elementos	Subcontratación
<b>12</b>	Aceptación y validez de los útiles de transporte	Calidad de utillaje

**4. Plazos de finalización e identificación de puntos de bloqueo e hitos.**

Para finalizar con el paso número 3, para cada uno de las tareas se indicará:

- Fecha de finalización: Se indica el plazo con el que se dispone para poder cumplir con la tarea desde la fecha de finalización de la tarea anterior.
- Identificación de los puntos bloqueantes de cada tarea y así poder prevenirlos.
- Identificación de los hitos clave, es decir, realización de las tareas más importantes del proyecto.

Tarea Nº	Listado de tareas	Puntos bloqueantes de cada tarea	Plazo	Hito clave
1	Generación del croquis del utillaje con las dimensiones y materiales finales.	- Falta del personal responsable de la realización de esta tarea	5 días	NO
2	Comprobación de las medidas y análisis de posibles cambios que puedan mejorar la ergonomía, peso, anclajes, movimiento, etc. del útil.	- Falta del personal responsable de la realización de esta tarea. - Decisión de realizar algunos cambios en el modelo previo	2 días	NO
3	Aceptación y validez del modelo	- Falta del personal responsable de la realización de esta tarea - Modelo no aceptado/validado	2 días	NO
4	Envío de la propuesta y solicitud de oferta a los proveedores y fabricantes.	- Retraso en el envío de la oferta por parte del proveedor	5 días	NO
5	Aceptación de la oferta recibida	- Oferta demasiado elevada que no permita su aceptación por parte de dirección	1 día	NO
6	Seguimiento de la fabricación y confirmación de la fecha de entrega de la primera fabricación.	- Retrasos en la entrega por parte del proveedor	10 días	NO
7	Realización de prueba de movimientos, resistencia y ergonomía de la primera fabricación	- Pruebas fallidas, detección de irregularidades.	2 días	NO
8	Aceptación y validez final al útil de transporte	- Falta del personal responsable de la realización de esta tarea - Modelo no aceptado/validado	2 días	SI

9	Envío de la propuesta y solicitud de oferta a los proveedores para la fabricación del resto de utillajes	- Retraso en el envío de la oferta por parte del proveedor	5 días	NO
10	Aceptación de la oferta recibida	- Oferta demasiado elevada que no permita su aceptación por parte de dirección	1 día	NO
11	Seguimiento de la fabricación y confirmación de las fechas de entrega del resto de elementos	- Retrasos en la entrega por parte del proveedor	10 días	NO
12	Aceptación y validez de los útiles de transporte	- Falta del personal responsable de la realización de esta tarea - Modelo no aceptado/validado	2 días	SI

#### 6.4.3 Paso 4: Incorporación de las tareas definidas en un A3 report

La acción de mejora "Proyecto de creación de un nuevo útil de transporte" que ha sido desarrollada detalladamente en el apartado anterior, requiere de un seguimiento semanal de su avance. Dicho seguimiento se realizará en reuniones periódicas donde participarán todos los miembros del equipo.

Para el transcurso de estas reuniones, se irá completando el documento A3 report de la acción, donde se va a definir los objetivos a largo y corto plazo, así como responsable y fecha de finalización de cada tarea.

Existen ocasiones en las que no es posible seguir con la planificación establecida por diferentes razones, entonces es cuando se bloquea la acción de mejora y se marca como punto bloqueante la tarea correspondiente. A continuación debe de tratarse este punto bloqueante en las reuniones periódicas, donde pasará a niveles superiores y se tomarán decisiones para desbloquear ese punto.

A continuación se muestra un ejemplo de un A3 report donde desarrolla como punto bloqueante la tarea nº 5 "aceptación de la oferta recibida". La cumplimentación de los campos del A3 report, ayudará a focalizar y entender el problema, además de compartir y desarrollar ideas por o diferentes miembros del equipo y adquirir experiencia de cara al futuro.

# A3 REPORT

## OPORTUNIDAD DE MEJORA: Proyecto de creación de un nuevo útil de transporte

### 1) PROBLEMA

#### Definir problema y situación de partida

Definición del problema encontrado en la tarea: "Nº5 Aceptación de la oferta recibida"

- La oferta recibida por parte del proveedor supera el límite de lo establecido para poder llevar a cabo el proyecto. Por lo tanto no ha sido aceptada por dirección.

### 2) EQUIPO

#### Definir responsable y equipo de trabajo

#### Responsable

#### Equipo de trabajo

Ingeniería de  
utillaje

-Calidad de utillaje

-Subcontratación

-Producción

-Logística

- Compras

- Dirección

### 3) OBJETIVOS

#### Mejoras esperadas/conseguidas

#### Mejoras:

Se plantea la revisión del modelo previo para la reducción de costes según su diseño, materiales, etc., elegidos

Por otro lado, el departamentos de compras seguirá buscando otros proveedores

#### INDICADORES

Actual

Esperado

Conseguido

Tarea 5

Tarea 5 desbloqueada el (XX/XX/XXX)

### 4) TAREAS

#### Desarrollo del listado de tareas

Nº	Tarea	Responsable	Fecha inicio	Fecha final
1	Generación de un nuevo croquis de utillaje con las dimensiones y materiales reduciendo un 20% los costes	Ingeniería de Utillaje	(XX/XX/XXXX)	(XX/XX/XXXX)
2	Búsqueda de nuevos proveedores más baratos	Compras	(XX/XX/XXXX)	(XX/XX/XXXX)
3	Aceptación y validez del nuevo modelo	Calidad de utillaje	(XX/XX/XXXX)	(XX/XX/XXXX)
4	Envío de la propuesta y solicitud de oferta a los proveedores y fabricantes.	Compras	(XX/XX/XXXX)	(XX/XX/XXXX)
5	Aceptación de la oferta recibida	Dirección	(XX/XX/XXXX)	(XX/XX/XXXX)

### 5)

#### APROBACIÓN

Aceptación por parte de la dirección

Firma Agente  
Lean

Firma Director

Firma Responsable

#### 6.4.4 Paso 5: Aceptación por parte de dirección del TIP

El paso número 5 es esencial para comenzar con el desarrollo y asegurar un compromiso en todos los niveles de trabajo. Una vez aceptado el TIP por parte de dirección se comienza a trabajar por las tareas más prioritarias.

#### 6.4.5 Paso 6: Designación de los procesos

La designación de los procesos a los diferentes departamentos responsables de su desarrollo ya ha sido realizada en el paso 2. Por lo tanto, en este paso cada responsable de departamento (responsable de la acción) debe de asignar a cada uno de los miembros las diferentes tareas que crea conveniente para poder así repartir la carga de trabajo y no impactar en las fechas de terminación.

#### 6.4.6 Paso 7: Seguimiento del TIP

Como ya se ha comentado en pasos anteriores, las acciones definidas en el paso 2 y paso 3, requieren de un seguimiento periódico del avance. En las reuniones presenciales, cada miembro responsable de tareas expondrá los desarrollos obtenidos, así como los diferentes problemas con los que se ha encontrado.

Tomando como referencia el formato A3 report, estos avances quedarán registrados y serán colocados en la sala de reuniones o en algún panel visible para que todo el personal de la empresa pueda consultar el estado en el que se encuentra el proyecto.

### 6.5 Plan de implantación del TIP. Gráfico de Gantt

El VSM futuro y el TIP muestran hasta donde se quiere llegar. A continuación se desarrollará el plan de implantación donde se mostrará en un diagrama de Gantt:

- Las acciones del TIP a llevar a cabo, fecha de iniciación y fecha de finalización.
- Qué objetivos se pretenden alcanzar con cada acción
- Puntos de control de cada acción, con fechas límites y responsables

Como se ha comentado en el apartado anterior 6.4 existen 2 acciones de mejora claramente prioritarias, son las más rentables y aunque sus soluciones sean más complejas, son por tanto las primeras acciones que se pondrán en marcha. La tercera opción más prioritaria será puesta en marcha una vez concluidas las dos primeras. Sin olvidar el resto de acciones, que al ser mejoras Kaizen especializada en cada operación también podrán iniciarse en paralelo.

Como estrategia, aparte de las prioridades definidas en las diferentes acciones, lo idóneo es comenzar la puesta en práctica de las mejoras Kaizen por el proceso marcapasos (recanteado), ya que sus mejoras serán notadas en los procesos siguientes y revelará problemas para cumplir con el ritmo de trabajo conseguido por el proceso marcapasos. A continuación se muestra el gráfico de Gantt con la planificación de implantación del TIP.



## Plan de implantación del TIP

Plan % completado % Completo (más allá del plan)  
Real Real (más allá del plan)  
Punto de control Semana Actual

PRIO.	ACTIVIDAD	Objetivo	Dpto. Resp.	SEMANA INICIAL	DURACIÓN PREVISTA	SEMANA INICIO REAL	DURACIÓN REAL	PORCENTAJE COMPLETADO	SEMANAS																											
									1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	
1	Proyecto de creación de un nuevo útil de transporte	Transporte directo Cliente1 --> Pintura1 y Pintura1 --> Cliente1	Ingeniería de producción	1	7	1	7	10%																												
2	Estudio, análisis y solución para dimensiones fuera de tolerancia en los elementos	10 elementos consecutivos con informes dimensionales conformes	Calidad del producto	1	8	1	8	10%																												
3	Proyecto de cambio del sistema productivo actual al sistema productivo futuro	Entrega del primer AV con un LT =< 20 días por elemento	Producción	9	7	0	0	0%																												
4	Desperdicios en la operación de recanteado							2%																												
4.1	Pérdida de tiempo en la identificación de los elementos con sus prioridades	Pendiente de la implementación de la prioridad 3 para su resolución	Pendiente de asignar	16	1	0	0	0%																												
4.2	Comprobación del estado de entrada de la pieza antes del mecanizado	Pendiente de la resolución de la prioridad 8.1 para su eliminación	Pendiente de asignar	0	0	0	0	0%																												
4.3	Proyecto de aplicación de herramientas Lean y 5´s en el puesto de trabajo	Eliminación de los desperdicios encontrados en un 90%	Lean	1	3	1	3	10%																												
4.4	Proyecto de creación de estructura de traslado pieza-máquina	Creación y uso de la estructura	Ingeniería de producción	8	3	0	0	0%																												
4.5	Proyecto de análisis y estudio para la creación de un programa de recanteo único.	Recanteado de 1 AV con los programas cerrados	Ingeniería de producción	11	3	0	0	0%																												
5	Desperdicios en las operaciones de verificación							8%																												
5.1	Proyecto de aplicación de herramientas Lean y 5´s en el puesto de trabajo	Eliminación de los desperdicios encontrados en un 90%	Lean	1	3	1	3	10%																												
5.2	Proyecto de implementación de un nuevo software en la empresa	Implantación y uso del nuevo software	TIC	1	20	1	20	10%																												
5.3	Compra y colocación de 4 mesas de medición en el departamento	Medición conforme de los primeros 4 elementos en las nuevas mesas	Producción	1	10	1	12	5%																												
6	Desperdicios en la operación de ultrasonidos							0%																												
6.1	Seguimiento y corrección por parte de las incidencias documentales detectadas	Reducir las incidencias en un 98%	Calidad del producto	9	10	0	0	0%																												
7	Desperdicios en la operación de sellado de cantos							0%																												
7.1	Pérdidas de tiempo en la comprobación de la documentación	Pendiente de la resolución de la prioridad 6.1 para su eliminación	Pendiente de asignar	19	1	0	0	0%																												
7.2	Proyecto de aplicación de herramientas Lean y 5´s en el puesto de trabajo	Eliminación de los desperdicios encontrados en un 90%	Lean	4	3	0	0	0%																												
7.3	Desperdicios en los procesos de envío y recepción en almacén							5%																												
7.4	Estudio y análisis de los Check list de recepción de los últimos 2 meses	Eliminación de los Check list de recepción al no encontrar incidencias denunciab	Calidad del producto	20	8	0	0	0%																												
7.5	Proyecto de implementación de un nuevo software en la empresa	Implantación y uso del nuevo software	TIC	1	20	1	20	10%																												



## Capítulo 7. Conclusiones

En el presente proyecto se han dado los primeros pasos para la implementación de técnicas Lean manufacturing en el programa de "Flap Support Fairing del avión A400M", de la empresa ficticia Machining Carbon Fiber.

Ha podido servir de inspiración para el lanzamiento de más proyectos por parte de otros miembros de la empresa que ahora buscan en sus entornos de trabajo necesidades de identificar y eliminar posibles desperdicios. Aun así, sigue existiendo un gran número de personas que se muestran reticentes al cambio, a la aplicación de una metodología Lean en su forma de trabajo, es sus formas de ver la producción.

Por el contrario este pensamiento está cambiando en aquellas personas que están más en contacto con la metodología y las técnicas Lean. Son capaces de darse cuenta por ellos mismos de la capacidad de alcanzar con su uso los objetivos que se proponen y de que realmente esta filosofía funciona.

Durante la recopilación de toda la información necesaria se apreciaron desperdicios que claramente eran identificables o que ya se pensaba en la necesidad eliminarlos. Pero no fue hasta la elaboración completa del VSM actual, cuando se pudo notar el gran potencial de esta herramienta.

Se ha podido ver a simple vista la ineficiencia del sistema establecido, un exceso de transportes logísticos que no solo retrasan considerablemente el lead time de entrega, sino que también ocupan enormes recursos del área de almacén, de las personas dedicadas a la gestión del programa y aumentan la probabilidad de los elementos de sufrir daños en alguno de esos transportes o movimientos.

Las incidencias de calidad y la dependencia con los recursos de los departamentos de calidad, afectan directamente al sistema productivo hasta tal punto que llega a considerarse como un proceso más de la línea. Los recursos se enfocan en el sentido contrario al que se debiera. En vez de aumentar la capacidad de los departamentos de calidad, se debe de enfocar todos los esfuerzos en solucionar la causa raíz del problema. Favorecer a la eliminación de inventarios, al flujo pieza a pieza manteniendo un ritmo de fabricación. Es decir, a crear procesos en flujo continuo.

El exceso de obra en curso y el elevado lead time de entrega analizados, no es debido a falta de recursos o falta de capacidad. Se debe a una sobreproducción descontrolada, donde los departamentos se organizan por funciones y cada uno de ellos busca su óptimo sin tener en cuenta el estado del proceso siguiente, originando inventarios intermedios. Se encuentra establecido el sistema push, donde no se tiene en cuenta lo que el cliente demanda, lo que necesita realmente.

A continuación tras el análisis del sistema productivo actual en su conjunto y la representación del VSM actual se muestran los resultados obtenidos:

VSM A400M FSF				
MACHINING CARBON FIBER	TACK TIME REAL (días naturales)	12 FSF/sem.	TACK TIME TEO (días naturales)	15 días/AV
	LT REAL (días naturales)	48 días	LT REAL (días naturales)	30 días
	OEC REAL (AV)	5,37	OEC TEÓRICA (AV)	2 AV
	OEC REAL (Unid.)	86 Unids.	OEC TEÓRICA (Unid.)	30 Unids.

TIEMPO	min	días
Tiempo de procesos no valor agregado	1056,1	
Tiempo de procesos valor agregado	1860,33	
Tiempo de inventarios		45,97
Plazo de entrega real	47,99 días	

- La OEC real supera en 56 unidades a la OEC teórica (3.5 aviones).
- El lead time de entrega real supera en 18 días el lead time límite teórico.

De la tabla de lead time se puede desglosar los tiempos en:

- Lead time de tiempos de procesos no valor agregado → 1056,1 min = 0,73 días
- Lead time de tiempos de procesos de valor agregado → 1860,33 min = 1.29 días
- Lead time de tiempos de inventarios → **45.97 días**

Como se puede observar un 95.79 % del lead time de una pieza en producción es tiempo que se encuentra el elemento parado, fuera de cualquier proceso, es decir, en inventarios intermedios o en ASM.

Estos datos remarcan las prioridades de las acciones de mejora que han sido establecidas en el plan de implantación de mejoras (TIP), se destacan:

- Proyecto de creación de un nuevo útil de transporte
- Proyecto de estudio, análisis y solución para dimensiones fuera de tolerancia en los elementos
- Proyecto de cambio del sistema productivo actual al sistema productivo futuro

Ya que el resto de mejoras a implementar para la mejora de los procesos (5's, estandarización, SMED, etc.) aun siendo de bastante importancia su aplicación, suponen un **1.52 %** del lead time total.

Por último, mostrar los resultados y objetivos a conseguir cuando sea implementado en su totalidad el sistema de producción futuro diseñado y representado en el VSM futuro. Cuyo plan de implantación se muestran en el TIP del presente proyecto.

VSM A400M FSF				
MACHINING CARBON FIBER	TACK TIME TEÓRICO (días nat)	15 días/AV		
	LEAD TIME TEÓRICO (días nat.)	30 días		
	OEC TEÓRICA	2 AV		

TIEMPO	min	días
Tiempo de procesos no valor agregado		0,42
Tiempo de procesos valor agregado	825,46	10
Tiempo de inventarios		7
Plazo de entrega real	18 días	

- Se ha reducido el lead time de los inventarios intermedios a **7 días**. Es decir, 38.97 días menos que el estado actual. Además comentar que el número de elementos que se encuentran en los inventarios entre procesos no superan la cantidad de las 2 unidades.
- Se reduce la obra en curso a la cantidad teórica de **2 aviones** (32 elementos).
- Se reduce el lead time de entrega real a **18 días laborables**. Como se puede comprobar el lead time de entrega es menor al lead time de entrega límite del cliente. Esto deberá ser tratado en interno por la empresa ya que según la filosofía Lean debe entregarse al cliente lo que quiere y cuando lo necesite. Por lo tanto se corre el riesgo de tener los productos terminados y que el cliente no los necesite.

Se ha establecido un sistema futuro:

- De **flujo pieza a pieza**: Cada proceso fabrica en el día los elementos que han sido fabricados en el anterior proceso un día antes y así sucesivamente hasta terminar la línea de producción, manteniendo un ritmo de fabricación que satisface la demanda del cliente. Detectando y obligando a solucionar más rápidamente cualquier incidencia de calidad que rompa el ritmo de fabricación
- De **flujo pull**: Es el cliente el que demanda lo que necesita. Solo se produce una cierta cantidad de elementos cuando se requiere. Se controla el sistema de producción

mediante el sistema Kanban. Se elimina gran cantidad de inventarios intermedios y sobreproducción

- Con la carga **nivelada**: Aunque cada proceso tiene lead time de ciclos bastantes dispares. Se deja claro en cada uno de ellos la realización al día de dos elementos. Siempre los dos elementos realizados por el proceso anterior el día anterior. Consiguiendo un ritmo de trabajo en cada proceso estable y continuo en el tiempo.







# **TRABAJO FIN DE GRADO EN INGENIERÍA MECÁNICA**

## **Escuela Superior de Ingeniería de Cádiz**

Análisis y mejora en la línea de producción de operaciones posteriores de autoclave en CFRP para una Flap Support Fairing del ala principal de la aeronave A400M, mediante la herramienta lean “VSM”

# **PLIEGO DE CONDICIONES**

Febrero 2017

Alejandro Vidal Herrera

Director: Manuel Tornell Barbosa



## ÍNDICE PLIEGO DE CONDICIONES

<b>PLIEGO DE CONDICIONES .....</b>	<b>129</b>
1. Condiciones generales .....	133
1.2 Condiciones legales.....	133
2. Condiciones particulares .....	134
2.2 Obligaciones del contratista .....	134
2.3 Obligaciones del proyectista.....	134
2.4 Formato de entrega del proyecto.....	134
3. Condiciones económicas .....	134
3.1 Forma de pago .....	134
3.2 Penalizaciones por incumplimiento de plazos.....	135
3.3 Garantía .....	135
4. Requisitos funcionales .....	135
4.1 Hardware .....	135
4.2 Software.....	135



## PLIEGO DE CONDICIONES

### 1. Condiciones generales

La principal condición que permite la ejecución de este proyecto es la presencia de una empresa dedicada a los procesos de fabricación posteriores al autoclave de materiales compuestos. Dicha empresa es la encargada de contratar a la compañía proyectista el análisis y estudio de una de sus líneas de producción para incrementar su eficiencia.

Toda la información necesaria para el desarrollo del presente documento recae en la empresa de fabricación, además de proporcionar todos los recursos técnicos y humanos para la ejecución del mismo.

### 1.2 Condiciones legales

Constituye objeto del presente documento todas las normas, reglamento y leyes de carácter general que sean aplicables tanto en el desarrollo como en la ejecución del proyecto que se presenta.

Podrán ser causas suficientes para la rescisión de contrato las que a continuación se detallan:

- Muerte o incapacidad del cliente.
- La quiebra del cliente.
- Modificaciones sustanciales del proyecto que conlleven la variación en más de un veinte por ciento (20%) del presupuesto contratado.
- No iniciar la ejecución del proyecto en el mes siguiente a la fecha convenida.
- Suspender o abandonar de forma injustificada por un plazo superior a dos meses.
- No concluir en los plazos establecidos o aprobados.
- Incumplimiento de las condiciones de contrato, proyecto en ejecución o determinaciones establecidas.
- Incumplimiento de la normativa vigente de Seguridad y Salud en el trabajo.

Durante la totalidad del proyecto se estará a lo dispuesto en la normativa vigente, especialmente la de obligado cumplimiento entre las que cabe destacar:

- Ley de prevención de riesgos laborales. [Ley 31/1995 Prevención de Riesgos Laborales (BOE 10/11/95).]
- Normas sobre protección de los trabajadores frente a los riesgos derivados de la exposición al ruido durante el trabajo. [R.D. 1316/89 Prevención de los trabajadores frente a los riesgos derivados de la exposición al ruido durante el trabajo (BOE02/1189)].
- Servicio de prevención. [R.D. 39/1.997. Reglamento Servicios de Prevención (BOE 31/01/97).]
- Reglamento de seguridad en las máquinas. [R.D 1495/1.986 de 26 mayo. BOE 21/07/1.986.]

## 2. Condiciones particulares

El proyectista es el responsable del resultado final del proyecto, así como de cubrir al máximo los requisitos técnicos y de gestión asociados.

### 2.1 Obligaciones del contratista

En el desarrollo del presente proyecto, el contratista está obligado a:

- Definir los objetivos a cumplir y establecer los plazos requeridos para el desarrollo del proyecto.
- Realizar un seguimiento periódico de las tareas realizadas.
- Proporcionar los requisitos técnicos y humanos necesarios.
- Proporcionar al proyectista toda documentación e información necesaria para el desarrollo del trabajo

### 2.2 Obligaciones del proyectista

En el desarrollo del presente proyecto, el proyectista está obligado a:

- Analizar el sistema de producción.
- Identificar los desperdicios y proponer acciones de mejora.
- Elaboración de una planificación para alcanzar los objetivos.
- Dar validez a la metodología y procedimientos establecidos.
- Conseguir el objetivo del proyecto en el plazo previsto

### 2.3 Formato de entrega del proyecto

El análisis y estudio realizado sobre la línea de producción de un componente estructural de una aeronave militar quedará reflejado y será entregado para su evaluación mediante un documento escrito, según la norma UNE 157001:2014, la cual establece los criterios generales para la elaboración formal de los documentos que constituyen un proyecto técnico.

## 3. Condiciones económicas

### 3.2 Forma de pago

El abono de los importes correspondientes a cada una de las fases de realización del presente trabajo está incluidos en los honorarios recibidos mensualmente por el proyectista por parte de la empresa. En caso de que el proyectista sea externo a la empresa lo realizará de la siguiente manera:

- 10% de los honorarios al adjudicar el proyecto.
- 40% de los honorarios al finalizar el estudio de las posibles soluciones y presentar una planificación para su desarrollo.
- 50% de los honorarios al finalizar el proyecto en su totalidad.

### 3.3 Penalizaciones por incumplimiento de plazos

En el proyectista incurre en retrasos o demoras con respecto a la planificación establecida, se llevará a cabo la implantación de una multa equivalente al 1% del valor total del proyecto por cada semana de retraso, sin poder esta superar el 10% del valor total contratado.

Lo anterior se llevará a cabo siempre y cuando se demuestre que el retraso es únicamente responsabilidad del proyectista y no obedecen a hechos de caso fortuito o por fuerza mayor debidamente comprobados o demostrados.

### 3.4 Garantía

El Proyectista debe garantizar que la metodología y planificación desarrollada en el presente proyecto satisface los requerimientos del cliente. Además debe de dar soporte al presente ante cualquier modificación o variación que se pueda producir en dicha planificación, hasta la fecha de terminación del mismo.

## 4. Requisitos funcionales

Para el desarrollo del proyecto los únicos requisitos funcionales que se deben dar son de tipo tecnológico.

### 4.2 Hardware

Para la elaboración del proyecto es necesario el uso de un equipo informático personal portátil. Los requisitos técnicos deben de ser suficientes para soportar el software utilizado.

### 4.3 Software

El software utilizado para la redacción y elaboración del proyecto en un paquete de ofimática con hojas de cálculo y procesador de textos.





# **TRABAJO FIN DE GRADO EN INGENIERÍA MECÁNICA**

## **Escuela Superior de Ingeniería de Cádiz**

Análisis y mejora en la línea de producción de operaciones posteriores de autoclave en CFRP para una Flap Support Fairing del ala principal de la aeronave A400M, mediante la herramienta lean “VSM”

# **PRESUPUESTO**

Febrero 2017

Alejandro Vidal Herrera

Director: Manuel Tornell Barbosa



## ÍNDICE PRESUPUESTOS

<b>PRESUPUESTOS.....</b>	<b>137</b>
1. Precios unitarios .....	141
2. Desglose presupuestario .....	141
2.2 Fase 1: Análisis de la línea de producción. Elaboración del VSM actual .....	141
2.3 Fase 2: Identificación de las desperdicios y elaboración de propuestas de mejora. Elaboración del VSM futuro .....	142
2.4 Fase 3: Realización del TIP y seguimiento del plan de implantación.....	143
3. Materiales .....	143
4. Presupuesto final .....	144



## PRESUPUESTOS

En este capítulo se recoge la valoración económica del proyecto. El proyectista al pertenecer como trabajador propio de la empresa no percibirá valor obtenido por dicho presupuesto, sino que vendrá incluido en los honorarios recibidos mensualmente por la empresa.

### 1. Precios unitarios

Código	Descripción	Precio unitario (€/hora)
A	1. Recopilación de los datos necesarios para la elaboración del proyecto	25, 00
B	2. Análisis de la información.	25, 00
C	3. Elaboración del documento.	25, 00

### 2. Desglose presupuestario

#### 2.2 FASE 1: ANÁLISIS DE LA LÍNEA DE PRODUCCIÓN. ELABORACIÓN DEL VSM ACTUAL

Se elabora el desglose presupuestario para la primera fase del presente proyecto. Se recoge el trabajo de análisis de la línea de producción, recopilación de toda la información necesaria y representación del VSM actual.

Fase	Nº Horas	Descripción	Precio unitario (€/hora)	Precio total (€)
1	50	1. Recopilación de los datos necesarios para la elaboración del proyecto 2. Análisis de la información.	25,00	

		3. Elaboración del documento.		1.250,00
PRECIO TOTAL FASE 1 (€)				1.250,00

### 2.3 FASE 2: IDENTIFICACIÓN DE LOS DESPERDICIOS Y ELABORACIÓN DE PROPUESTAS DE MEJORA. ELABORACIÓN DEL VSM FUTURO

Se elabora el desglose presupuestario para la segunda fase del presente proyecto. Se recoge el trabajo de identificación de los desperdicios existentes en el sistema productivo actual, desarrollo de soluciones, propuestas de mejora y elaboración del VSM futuro.

Fase	Nº Horas	Descripción	Precio unitario (€/hora)	Precio total (€)
2	120	1. Recopilación de los datos necesarios para la elaboración del proyecto 2. Análisis de la información. 3. Elaboración del documento.	25,00	3.000,00
PRECIO TOTAL FASE 2 (€)				3.000,00

### 2.4 FASE 3: REALIZACIÓN DEL TIP Y SEGUIMIENTO DEL PLAN DE IMPLANTACIÓN

Se elabora el desglose presupuestario para la segunda fase del presente proyecto. Se recoge el trabajo de realización del TIP, la planificación para su desarrollo y posterior seguimiento.

Fase	Nº Horas	Descripción	Precio unitario (€/hora)	Precio total (€)
3	100	1.Recopilación de los datos necesarios para la elaboración del proyecto 2.Análisis de la información. 3.Elaboración del documento.	25,00	2.500,00
PRECIO TOTAL FASE 3 (€)				2500,00

### 3. MATERIALES

Nº unidades	Descripción	Precio unitario (€)	Precio total (€)
8	Fabricación de utillaje de transporte.	700,00	5600,00
1	Estructura de traslado pieza-máquina	1250,00	1250,00
3	Mesas de medición por láser tracker	575,00	1725,00
PRECIO TOTAL MATERIALES (€)			8575,00

### 4. PRESUPUESTO FINAL

Coste total de la ejecución según horas incurridas (FASE 1)	1250,00 €
Coste total de la ejecución según horas incurridas (FASE 2)	3000,00 €
Coste total de la ejecución según horas incurridas (FASE 3)	2500,00 €
Presupuesto de adquisición de materiales	8575,00 €
PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN MATERIAL DEL PROYECTO	15325,00 €
Beneficio Industrial (+5% ejecución por horas incurridas)	337,50 €
Presupuesto de ejecución por contrata	15662,50 €
IVA (21%)	3289,12 €
<b>PRESUPUESTO FINAL</b>	<b>18951,62 €</b>

El presupuesto total de la realización y ejecución del presente proyecto, asciende a la cantidad de “DIECIOCHO MIL NOVECIENTOS CINCUENTA Y UN EUROS CON SESENTA Y DOS CÉNTIMOS DE EURO”







# **TRABAJO FIN DE GRADO EN INGENIERÍA MECÁNICA**

## **Escuela Superior de Ingeniería de Cádiz**

Análisis y mejora en la línea de producción de operaciones posteriores de autoclave en CFRP para una Flap Support Fairing del ala principal de la aeronave A400M, mediante la herramienta lean “VSM”

## **BIBLIOGRAFÍA**

Febrero 2017

Alejandro Vidal Herrera

Director: Manuel Tornell Barbosa



## BIBLIOGRAFÍA

<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>147</b>
1. Bibliografía referenciada .....	151
2. Normas .....	152



## 1. Bibliografía Referenciada

- 1- Hernández Matías, J.C. y Vizán Idolpe, A. *"Lean Manufacturing. Conceptos, técnicas e implantación"*, Fundación EOI, Madrid (2013).
- 2- Ruiz de Arbulo López, P. *"La gestión de costes en Lean Manufacturing. Como evaluar las mejoras en costes en un sistema Lean"*. Unireditorial, La Rioja (2013).
- 3- Rajadell, M. y Sánchez, J.L. *"Lean Manufacturing. La evidencia de una necesidad"*. Ediciones Díaz de Santos, Madrid (2010).
- 4- Villaseñor Contreras, A. y Galindo Cota, E. *"Manual de Lean Manufacturing. Guía Básica"*. Editorial Limusa, México, D.F (2007).
- 5- Galloway, D. *"Mejora continua de procesos. Cómo rediseñar los procesos con diagramas de flujos y análisis de tareas"*. Gestión 2000, Wisconsin, USA. (1994).
- 6- Cabrera Calva, R.C. *"VSM: Análisis del Mapeo de Cadena de Valor"*.
- 7- Toledado De Diego, A., Mañes Sierra, N. y Julián García, S. *"<<Las claves del éxito de Toyota>>. Lean, más que un conjunto de herramientas y técnicas"*. (2009).
- 8- Rother, M. y Shook, J. *"Observar para crear valor. Cartografía de la cadena de valor para agregar valor y eliminar "muda""*. The Lean Enterprise Institute. Massachusetts, USA (1999)
- 9- *"Tactical Implementation Plans (TIPS's)"* <http://www.beyondlean.com/support-files/tactical-implementation-plans.pdf> (Fecha de última revisión 10/0/2017).
- 10- García, J.M. *"Análisis y mejora de la cadena de suministro de un programa aeronáutico, mediante la herramienta Lean VSM"*. Universidad de Sevilla (2012).
- 11- <http://www.leansolutions.co/conceptos/vsm/> (Fecha de última revisión 11/11/2016).
- 12- <http://ocw.um.es/cc.-sociales/estadistica-para-informacion-y-documentacion/material-de-clase-1/tema-2.pdf> (Fecha de última revisión 12/15/2016)

## 2. Normas

- 1- UNE-EN 157001, Junio 2014, “Criterios generales para la elaboración formal de los documentos que constituyen un proyecto técnico”.
- 2- Ley 31/1995 “Prevención de Riesgos Laborales” (BOE 10/11/1995).
- 3- Normas sobre protección de los trabajadores frente a los riesgos derivados de la exposición al ruido durante el trabajo. [R.D. 1316/89 Prevención de los trabajadores frente a los riesgos derivados de la exposición al ruido durante el trabajo (BOE 02/1189)].
- 4- Servicios de prevención. [R.D. 1495/1986 de 26 de Mayo. BOE 21/07/1986].
- 5- UNE-EN ISO 9000, Septiembre 2015, “Sistemas de gestión de la calidad. Fundamentos y vocabulario”.
- 6- UNE-EN ISO 9001, Septiembre 2015, “Sistemas de gestión de la calidad. Requisitos”.
- 7- UNE-EN ISO 10628, Septiembre 2001, “Diagrama de flujo de plantas de proceso. Reglas generales”.







# **TRABAJO FIN DE GRADO EN INGENIERÍA MECÁNICA**

## **Escuela Superior de Ingeniería de Cádiz**

Análisis y mejora en la línea de producción de operaciones posteriores de autoclave en CFRP para una Flap Support Fairing del ala principal de la aeronave A400M, mediante la herramienta lean “VSM”

## **ANEXOS**

Febrero 2017

Alejandro Vidal Herrera

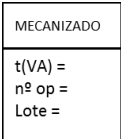

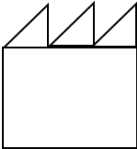


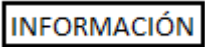



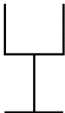



Director: Manuel Tornell Barbosa



## ANEXOS

### 1. Leyenda para la representación del VSM

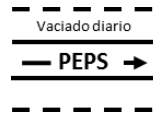
**Tabla 1:** Iconos utilizados en la representación del VSM

➤ Proceso de Manufactura		➤ Flujo de información electrónico	
➤ Factoría de cliente o procesos externos		➤ Flujo de información manual	
➤ Inventario		➤ Cuadro de información de departamento	
➤ Línea de transferencia pull		➤ Kanban de retiro	
➤ Línea de transferencia push		➤ Puesto Kanban	
➤ Envío por camión		➤ Relámpago Kaizen	
➤ Supermercado. Inventario controlado de piezas			

- Retiro de piezas del supermercado



- Transferencias de cant. de material controladas entre procesos en una secuencia “primero en entrar primero en salir”



## 2. Standar Work Combination Sheet





PN	TURNO	FECHA:	Departamento	STANDARD WORK COMBINATION SHEET										HOJA 1
DESIGNACIÓN														
Nº	DESCRIPCIÓN DE LA TAREA	Nº OPERARIOS	TIEMPO (min)			WORK TIME ( 1.0 UNIT = 5 min.)	MANUAL	DESPLAZAMIENTO	VA (Valor añadido)		ANÁLISIS DE VALOR			
			MANUAL	MÁQUINA	DESPL		MÁQUINA	ESPERA	NVA (No valor añadido)	D (Desperdicio)				
100														
101														
102														
103														
104														
105														
106														
107														
108														
109														
110														
111														
112														
113														
114														
115														
116														
117														
118														
119														
120														
121														
122														
123														
124														
125														
126														
127														
128														
129														
130														
131														
132														
133														
134														
135														
136														

### 3. Tabla resumen de inventarios

OPERACIONES	CALCULO DE INVENTARIOS											
	Período 1	Período 2	Período 3	Período 4	Período 5	Período 6	Período 7	MEDIA REAL	MEDIA	RECORRIDO	Desviación típica	Premisa
RECEPCIÓN DE ELEMENTOS + ENVÍO A REP SUPERFICIAL	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
RECEPCIÓN REPARACIÓN SUPERFICIAL	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
REPARACIÓN SUPERFICIAL	8	6	8	10	8	8	8	8	8	4	1,154700538	VERDADERO
ENVÍO A RECANTEO	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
RECEPCIÓN DE REPARACIÓN SUPERFICIAL	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
RECANTEO	10	8	10	9	10	11	12	10	10	4	1,290994449	VERDADERO
REPASO	3	3	3	4	2	3	3	3	3	2	0,577350269	VERDADERO
VERIFICACIÓN LÁSER	10	8	7	9	7	9	3	7,57142857	8	7	2,299068134	VERDADERO
VERIFICACIÓN MANUAL	7	9	7	9	3	10	8	7,57142857	8	7	2,299068134	VERDADERO
ASM	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
UT	16	15	14	17	15	15	16	15,4285714	16	3	0,975900073	VERDADERO
SELLADO	8	10	8	10	4	11	9	8,57142857	9	7	2,299068134	VERDADERO
ENVÍO A PINTURA	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
RECEPCIÓN PINTURA	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
PINTURA	7	10	7	8	9	4	9	7,71428571	8	6	1,97604704	VERDADERO
AVELLANADO	4	4	4	0	2	2	4	2,85714286	3	4	1,573591585	VERDADERO
VERIFICACIÓN FINAL	1	2	0	4	1	2	2	1,71428571	2	4	1,253566341	VERDADERO
ENVÍO A PRODUCTO TERMINADO	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
RECEPCIÓN DE PRODUCTO TERMINADO	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A



#### 4. Leyenda para la representación del diagrama de flujo

SÍMBOLO	NOMBRE	OBSERVACIONES
 Proceso	Proceso	Indica la realización de una acción o proceso
 Decisión	Decisión	Representa la comparación entre dos valores. Tienes dos salidas de información
 Proceso Inicial/final	Proceso Inicial/final	Representa el final o el inicio del flujo
	Lineas de flujo	Indica el sentido del flujo

## 5. Valor agregado en las operaciones

### 5.1 Recepción de elementos + Envío a reparación superficial

OPERACIONES		TIEMPO	Nº Operarios	Descripción
RECEPCIÓN DE ELEMENTOS + ENVÍO A REP SUPERFICIAL			1	
10	Descargar cajón metálico (puente grúa)	11,8		necesario
20	Levantar tapa metálica (puente grúa)	9,44		necesario
30	Sacar elementos del útil y colocar en almacén	5,9		necesario
40	Comprobación del albarán	3,54		necesario
50	Realización del Check list de recepción	8,26		no valor agregado
60	Enviar correo de recepción de elementos	3,54		no valor agregado
70	Meter elementos en cajones de madera para envío a reparación superficial	11,8		necesario
80	Creación de la solicitud de subcontratación	5,9		necesario
90	Enviar correo de envío a subcontratación	2,36		no valor agregado
100	Picar la operación de envío a rep superficial	3,54		necesario
110	Cargar cajones de madera en el transporte	9,44		necesario
	TIEMPO TOTAL (VA)	0		
	TIEMPO TOTAL (NE)	61,36		
	TIEMPO TOTAL (NVA)	14,16		
	TIEMPO TOTAL	75,52		

### 5.2 Recepción reparación superficial

OPERACIONES		TIEMPO	Nº Operarios	Descripción
RECEPCIÓN REPARACIÓN SUPERFICIAL			1	
10	Descargar cajones de madera del transporte	9,44		necesario
20	Sacar los elementos de útil y colocarlos en la zona de recepción	5,9		necesario
30	Recepción de elementos en el sistema	2,36		necesario
40	Mover elementos hasta zona de reparación superficial	8,26		necesario
	TIEMPO TOTAL (VA)	0		
	TIEMPO TOTAL (NE)	25,96		
	TIEMPO TOTAL (NVA)	0		
	TIEMPO TOTAL	25,96		

### 5.3 Reparación superficial

OPERACIONES		TIEMPO	Nº Operarios	Descripción
REPARACIÓN SUPERFICIAL			1	
10	Reparación con emplastecedor del Parche Negro	29,5		valor agregado
20	Reactivación de la superficie	35,4		valor agregado
30	Aplicación de la pasta rosa <b>EN TODA LA SUP. DE LA FSF</b> (mezcla + aplicación)	88,5		valor agregado
40	Estufado	106,2		valor agregado
50	Lijado de la pasta rosa <b>EN TODA LA SUP. DE LA FSF (más complejo)</b>	106,2		valor agregado
60	Imprimación Z12-129. Revelador de porosidad	35,4		valor agregado
70	Estufado	106,2		valor agregado
80	Aplicación de tapaporos Z12-211	47,2		valor agregado
90	Estufado	106,2		valor agregado
100	Matizado + terminación	47,2		valor agregado
TIEMPO TOTAL (VA)		708		
TIEMPO TOTAL (NE)		0		
TIEMPO TOTAL (NVA)		0		
TIEMPO TOTAL		708		

### 5.4 Envío a recanteo

OPERACIONES		TIEMPO	Nº Operarios	Descripción
ENVÍO A RECANTEO			1	
10	Meter elementos en cajones de madera para envío a reparación superficial	11,8		necesario
20	Sacar albarán de salida	5,9		necesario
30	Cargar cajones de madera en el transporte	9,44		necesario
TIEMPO TOTAL (VA)		0		
TIEMPO TOTAL (NE)		27,14		
TIEMPO TOTAL (NVA)		0		
TIEMPO TOTAL		27,14		

### 5.5 Recepción reparación superficial

OPERACIONES		TIEMPO	Nº Operarios	Descripción
RECEPCIÓN DE REPARACIÓN SUPERFICIAL			1	
10	Descargar cajones de madera del transporte	9,44		necesario
20	Sacar los elementos del útil de madera y colocarlos en la zona de recepción	5,9		necesario
30	Comprobación del albarán	2,36		no valor agregado
40	Realización del Check list de recepción	8,26		no valor agregado
50	Enviar correo de recepción	8,26		no valor agregado
60	Picar la operación de recepción de rep superficial	3,54		necesario
70	Colocar los elementos en la estantería de máquina	0		necesario
TIEMPO TOTAL (VA)		0		
TIEMPO TOTAL (NE)		18,88		
TIEMPO TOTAL (NVA)		18,88		
TIEMPO TOTAL		37,76		

## 5.6 Recateo

OPERACIONES			TIEMPO	Nº Operarios	Descripción
RECANTEO				1	
10	Identificación del elemento con el AV correspondiente	5,9			no valor agregado
20	Colocación de EPI's	5,9			necesario
30	Comprobación del estado de entrada del elemento	5,9			no valor agregado
40	Localizar documentación (IT's)	5,9			no valor agregado
50	Colocación de suplemento en la mesa de recateo	11,8			necesario
60	Posicionar útil de recateo en suplemento	11,8			necesario
70	Preparación y cambios de herramientas	17,7			necesario
80	Posicionar pieza en útil	5,9			necesario
90	Lanzar programa de galgneo	11,8			necesario
100	Desplazamiento a programación. Comunicar valores de galgneo (parametrización)	11,8			no valor agregado
110	Lanzar programa de creces. Medición de crecer	11,8			no valor agregado
120	Lanzar programa definitivo	70,8			valor agregado
130	Medición diámetro de ventanas	11,8			no valor agregado
140	Sellar orden de producción	5,9			valor agregado
150	Recogida y reciclaje de retales	5,9			necesario
160	Desmontar elemento del útil y colocación en el puesto siguiente	23,6			necesario
170	Colocación de útil en estantería	11,8			necesario
180	Registrar proceso en la base de datos (al final del turno)	5,9			necesario
	TIEMPO TOTAL (VA)	76,7			
	TIEMPO TOTAL (NE)	112,1			
	TIEMPO TOTAL (NVA)	53,1			
	TIEMPO TOTAL	241,9			

## 5.7 Repaso

OPERACIONES			TIEMPO	Nº Operarios	Descripción
REPASO				1	
10	Comprobación de la documentación (PN y referencia de fabricación)	3,54			no valor agregado
20	Colocación de EPI's	4,72			necesario
30	Colocación del elemento en la mesa de trabajo	3,54			necesario
40	Localización de la documentación (plano MEC)	2,36			necesario
50	Preparación y cambios de herramientas	3,54			necesario
60	Repaso del elemento (pelado, corte de orjetas a 30 mm, rebabar taladros)	35,4		1	valor agregado
70	Sellar orden de producción	0			valor agregado
80	Llevar al siguiente proceso	8,26			necesario
90	Registrar proceso en la base de datos (al final del turno)	1,18			necesario
	TIEMPO TOTAL (VA)	35,4			
	TIEMPO TOTAL (NE)	23,6			
	TIEMPO TOTAL (NVA)	3,54			
	TIEMPO TOTAL	62,54			

## 5.8 Verificación láser

OPERACIONES		TIEMPO	Nº Operarios	Descripción
VERIFICACIÓN LÁSER			1	
10	Retirada del útil de la mesa de medición y colocación en estantería	11,8		necesario
20	Colocación del útil en la mesa de medición	5,9		necesario
30	Localización elementos útil de verificación	5,9		no valor agregado
40	Colocación de la pieza en el útil de verificación	35,4		necesario
50	Impresión de la documentación necesaria	11,8		no valor agregado
60	Estacionamiento del láser tracker	21,24		necesario
70	medición láser del elemento	141,6		valor agregado
80	Dimensionamiento de la medición	17,7		valor agregado
90	Pasar valores a la IV cliente y guardar documentación	3,54		valor agregado
100	Desmontar elemento del útil de verificación	11,8		necesario
110	Colocación del elemento en el siguiente puesto	5,9		necesario
120	Correo de inspección dimensional	3,54		no valor agregado
130	Registrar proceso en la base de datos (al final del turno)	1,18		necesario
TIEMPO TOTAL (VA)		162,84		
TIEMPO TOTAL (NE)		93,22		
TIEMPO TOTAL (NVA)		21,24		
TIEMPO TOTAL		277,3		

## 5.9 Verificación manual

OPERACIONES		TIEMPO	Nº Operarios	Descripción
VERIFICACIÓN MANUAL			1	
10	Colocación del elemento en la mesa de medición	5,9		necesario
20	Impresión de la documentación necesaria	11,8		no valor agregado
30	Verificación del elemento	35,4		valor agregado
40	Cumplimiento, generación y guardado de la IV	17,7		necesario
50	Envío de correo informando de la medición	3,5		no valor agregado
60	Colocación del elemento en el puesto siguiente	9,44		necesario
70	Registrar proceso en la base de datos (al final del turno)	1,18		necesario
TIEMPO TOTAL (VA)		35,4		
TIEMPO TOTAL (NE)		34,22		
TIEMPO TOTAL (NVA)		11,8		
TIEMPO TOTAL		81,42		

## 5.10 Ultrasonidos

OPERACIONES		TIEMPO	Nº Operarios	Descripción
UT			1	
10	Revisión de la documentación del elemento (Orden, IV, Sellos, Referencia de la pieza, etc...)	8,26		no valor agregado
20	Comprobación en archivo de seguimiento que no se ha realizado antes	3,54		no valor agregado
40	Colocación de los EPI's	2,36		necesario
50	Calibrado del equipo (distancia, sensibilidad)	14,16		necesario
60	Colocación de FSF en la mesa de inspección	2,36		necesario
70	Inspección ultrasonidos A-SCAN del elemento	141,6		valor agregado
80	Inspección visual del elemento	11,8		necesario
90	Registro de defectos en croquis FSF	5,9		no valor agregado
100	Registro de la inspección (Libro de inspección UT, Excel control de inspección, Ecanear croquis, Enviar correo de inspección, reguistro del proceso en la base de datos)	11,8		necesario
110	Colocación del elemento en el puesto siguiente	3,54		necesario
TIEMPO TOTAL (VA)		141,6		
TIEMPO TOTAL (NE)		46,02		
TIEMPO TOTAL (NVA)		17,7		
TIEMPO TOTAL		205,32		

## 5.11 Sellado

OPERACIONES		TIEMPO	Nº Operarios	Descripción
SELLADO			1	
10	Colocación del elemento en el puesto de trabajo	5,9		necesario
20	Colocación de los EPI's	2,36		necesario
30	Comprobación de la documentación del elemento	3,54		no valor agregado
40	Movimiento y búsqueda de herramientas de trabajo	5,9		no valor agregado
50	Limpieza y secado del contorno de la pieza	5,9		necesario
60	Enmascarado del contorno de la pieza	20,06		no valor agregado
70	Mezcla de sellante y registro en hoja física	17,7		necesario
80	Aplicación de sellante en el elemento	20,06		valor agregado
90	Desenmascarado	5,9		no valor agregado
100	Revisión y limpieza de exceso de sellante	27,14		necesario
110	Repaso y terminación del sellante	17,7		necesario
120	Tiempos de curado T.A	354	0	valor agregado
130	Lijado y verificación	20,06		necesario
140	Registro de operación (sello de la operación y registro en el sistema)	3,54		necesario
150	Colocación del elemento en el puesto siguiente	11,8		necesario
TIEMPO TOTAL (VA)		374,06		
TIEMPO TOTAL (NE)		112,1		
TIEMPO TOTAL (NVA)		35,4		
TIEMPO TOTAL		521,56		

### 5.12 Envío a pintura

OPERACIONES		TIEMPO	Nº Operarios	Descripción
ENVÍO A PINTURA			1	
10	Confirmar elementos para su salida a pintura	5,9		no valor agregado
20	Meter elementos en cajones de madera para envío a pintura	23,6		necesario
30	Crear solicitud de subcontratación	5,9		necesario
40	Picar la operación de envío a pintura	1,18		necesario
50	Mandar correo de envío a pintura	2,36		no valor agregado
60	Cargar cajones de madera en el transporte	9,44		necesario
TIEMPO TOTAL (VA)		0		
TIEMPO TOTAL (NE)		40,12		
TIEMPO TOTAL (NVA)		8,26		
TIEMPO TOTAL		48,38		

### 5.13 Recepción pintura

OPERACIONES		TIEMPO	Nº Operarios	Descripción
RECEPCIÓN PINTURA			1	
10	Descargar cajones de madera del transporte	9,44		necesario
20	Sacar los elementos de útil y colocarlos en la zona de recepción	5,9		necesario
30	Recepción de elementos en el sistema	2,36		necesario
40	Mover elementos hasta zona de pintura	8,26		necesario
TIEMPO TOTAL (VA)		0		
TIEMPO TOTAL (NE)		25,96		
TIEMPO TOTAL (NVA)		0		
TIEMPO TOTAL		25,96		

### 5.14 Pintura

OPERACIONES		TIEMPO	Nº Operarios	Descripción
PINTURA			1	
10	Enmascarado del interior y limones de la FSF	70,8		necesario
20	Preparación de la pintura	17,7		necesario
30	Colocación de los Epi's	5,9		necesario
40	Aplicación de imprimación de pintura	70,8		valor agregado
50	Estufado	141,6		valor agregado
60	Verificación de pintura	23,6		valor agregado
70	Sello en la orden de producción	2,36		necesario
80	Envío de FSF al siguiente proceso	5,9		necesario
TIEMPO TOTAL (VA)		236		
TIEMPO TOTAL (NE)		102,66		
TIEMPO TOTAL (NVA)		0		
TIEMPO TOTAL		338,66		

### 5.15 Avellanado

OPERACIONES		TIEMPO	Nº Operarios	Descripción
AVELLANADO			1	
10	Colocación de EPI's	5,9		necesario
20	Preparación y cambio de herramienta	5,9		no valor agregado
30	Colocación de elemento en la mesa de trabajo	3,54		necesario
40	Realización de los avellanados	84,96		valor agregado
50	Relleno de la IV	5,9		valor agregado
60	Sello en la orden de producción	2,36		necesario
70	Colocación del elemento en la siguiente operación	5,9		necesario
TIEMPO TOTAL (VA)		90,86		
TIEMPO TOTAL (NE)		17,7		
TIEMPO TOTAL (NVA)		5,9		
TIEMPO TOTAL		114,46		

### 5.16 Verificación final

OPERACIONES		TIEMPO	Nº Operarios	Descripción
VERIFICACIÓN FINAL			1	
10	Colocación del elemento en el puesto de trabajo	5,9		necesario
20	Verificación visual del elemento	23,6		no valor agregado
30	Verificación de los avellanados	11,8		no valor agregado
40	Verificación documental del elemento	17,7		no valor agregado
TIEMPO TOTAL (VA)		0		
TIEMPO TOTAL (NE)		5,9		
TIEMPO TOTAL (NVA)		53,1		
TIEMPO TOTAL		59		

### 5.17 Envío a producto terminado

OPERACIONES		TIEMPO	Nº Operarios	Descripción
ENVÍO A PRODUCTO TERMINADO			1	
10	Meter elementos en cajones de madera para envío a reparación superficial	11,8		necesario
20	Sacar albarán de salida	5,9		necesario
30	Cargar cajones de madera en el transporte	9,44		necesario
TIEMPO TOTAL (VA)		0		
TIEMPO TOTAL (NE)		27,14		
TIEMPO TOTAL (NVA)		0		
TIEMPO TOTAL		27,14		

### 5.18 Recepción de producto terminado

OPERACIONES		TIEMPO	Nº Operarios	Descripción
RECEPCIÓN DE PRODUCTO TERMINADO			1	
10	Descargar cajones de madera del transporte	9,44		necesario
20	Sacar los elementos del útil de madera y colocarlos en la zona de producto terminado	5,9		necesario
50	Enviar correo de recepción	5,9		no valor agregado
TIEMPO TOTAL (VA)		0		
TIEMPO TOTAL (NE)		15,34		
TIEMPO TOTAL (NVA)		0		
TIEMPO TOTAL		21,24		







